

DISEÑO DEL LABORATORIO DE RECURSOS HÍDRICOS EN LA SEDE DE LAS PALMAS DE LA UNIVERSIDAD EIA

**DANIEL ARROYAVE ZAPATA
ANA MARÍA VÉLEZ HENAO**

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Julián Esteban Bedoya Jiménez
Ingeniero Químico**



**UNIVERSIDAD EIA
INGENIERÍA CIVIL
ENVIGADO
2017**

AGRADECIMIENTOS

Inicialmente agradecemos a la Universidad EIA por todo el apoyo y la confianza brindada para el desarrollo del presente trabajo de grado, así como también a los diferentes docentes que nos acompañaron durante toda la carrera y nos formaron integralmente.

Agradecemos también al Ingeniero Julián Esteban Bedoya Jiménez, nuestro director de tesis, por ayudarnos y orientarnos en todo el desarrollo del proyecto y por su gran dedicación, esfuerzo y paciencia.

Finalmente agradecemos a nuestros padres, por darnos la oportunidad de estudiar, por impulsar nuestros sueños y por hacer de nosotros mejores personas.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	14
1. PRELIMINARES.....	15
1.1 CONTEXTUALIZACIÓN.....	15
1.2 Objetivos del proyecto	16
1.2.1 Objetivo General.....	16
1.2.2 Objetivos Específicos	16
1.3 Marco de referencia.....	17
1.3.1 Laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA	17
1.3.2 Tendencias en instalación y operación en el mundo.....	19
2. METODOLOGÍA.....	24
2.1 Recolección de información.....	24
2.1.1 Determinación de los requerimientos del laboratorio de hidráulica	24
2.1.2 Revisión de las tendencias en instalación y operación de los laboratorios de hidráulica en el mundo.....	24
2.2 Procedimiento.....	24
2.2.1 Identificación de alternativas de diseño	24
2.2.2 Estudio de prefactibilidad.....	24
2.2.3 Diseño del laboratorio.....	25
2.3 Cronograma, presupuesto y propuesta a la Universidad	26
3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	28
3.1 Diagnóstico.....	28
3.1.1 Evaluación del estado actual del laboratorio.....	28

3.1.2	Determinación de las necesidades de la Universidad EIA	54
3.1.3	Tendencias de laboratorios en la ciudad de Medellín	62
3.2	Estudio de prefactibilidad.....	74
3.2.1	Identificación de opciones según la aplicación académica	74
3.2.2	Identificación de opciones según el origen de los equipos.....	75
3.2.3	Evaluación y calificación de alternativas	93
3.3	Diseño del laboratorio y consideraciones para implementación	116
3.3.1	Distribución en planta	116
3.3.2	REQUERIMIENTOS DE PLANTA FÍSICA	118
3.3.3	Condiciones generales del laboratorio	118
3.3.4	Fases de inversión propuestas	119
4.	CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES	123
5.	REFERENCIAS	125
	ANEXO 1	129

LISTA DE TABLAS

	pág.
<i>Tabla 1 Costo en el 2017 del consumo de agua por EPM en \$/m3.....</i>	48
<i>Tabla 2 Costo en 2017 del consumo de energía por EPM en \$/kWh.</i>	50
<i>Tabla 3 Asignaturas con contenidos hídricos.....</i>	56
<i>Tabla 4 Equipos para realización de las prácticas de las asignaturas relacionadas con el recurso hídrico.....</i>	59
<i>Tabla 5 Especificaciones y consideraciones del laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.....</i>	62
<i>Tabla 6 Especificaciones y consideraciones del laboratorio de Hidráulica de la Universidad EAFIT.....</i>	70
<i>Tabla 7 Evaluación académica de equipos de Armfield.....</i>	97
<i>Tabla 8 Evaluación académica de equipos de G.U.N.T.....</i>	98
<i>Tabla 9 Calificación académica de alternativas</i>	99
<i>Tabla 10 Evaluación económica traslado de equipos por Heuresis.....</i>	99
<i>Tabla 11 Evaluación económica equipos de Armfield.....</i>	101
<i>Tabla 12 Evaluación económica equipos de G.U.N.T.....</i>	102
<i>Tabla 13 Calificación económica de la alternativa de traslado.....</i>	103
<i>Tabla 14 Calificación económica de Armfield.....</i>	104
<i>Tabla 15 Calificación económica de G.U.N.T.....</i>	105
<i>Tabla 16 Evaluación técnica de Armfield y G.U.N.T.....</i>	106
<i>Tabla 17 Resumen calificación técnica de alternativas.....</i>	108
<i>Tabla 18 Calificación ambiental de la alternativa de traslado.....</i>	109
<i>Tabla 19 Calificación ambiental de Armfield.....</i>	110

<i>Tabla 20 Calificación ambiental de G.U.N.T.</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 21 Calificación de seguridad de alternativas.</i>	<i>113</i>
<i>Tabla 22 Calificación definitiva de alternativas (análisis 1).....</i>	<i>114</i>
<i>Tabla 23 Calificación definitiva de alternativas (análisis 2).....</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 24 Calificación definitiva de alternativas (análisis 3).....</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 25 Requerimientos por equipo de suministro eléctrico.</i>	<i>118</i>
<i>Tabla 26 Requerimientos por equipo de suministro de agua.</i>	<i>118</i>
<i>Tabla 27 Requerimientos por equipo de drenaje.....</i>	<i>118</i>
<i>Tabla 28 Requerimientos para el uso de software.</i>	<i>118</i>
<i>Tabla 29 Fase Cero de inversión de la Opción 1.</i>	<i>120</i>
<i>Tabla 30 Fase Uno de inversión de la Opción 1.</i>	<i>120</i>
<i>Tabla 31 Fase Dos de inversión de la Opción 1.....</i>	<i>120</i>
<i>Tabla 32 Fase Cero de inversión de la Opción 2.</i>	<i>121</i>
<i>Tabla 33 Fase Uno de inversión de la Opción 2.</i>	<i>121</i>
<i>Tabla 34 Fase Dos de inversión de la Opción 2.....</i>	<i>121</i>
<i>Tabla 35 Fase Tres de inversión de la Opción 2.....</i>	<i>121</i>

LISTA DE ILUSTRACIONES

	pág.
<i>Ilustración 1 Vertedero triangular del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA sede Zúñiga.</i>	18
<i>Ilustración 2 Canal de pendiente variable del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA sede Zúñiga.</i>	18
<i>Ilustración 3 Válvula del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA sede Zúñiga.</i>	18
<i>Ilustración 4 Red de tuberías del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA sede Zúñiga.</i>	19
<i>Ilustración 5 Canal de oleaje (Universidad de Bangor, 2016).</i>	20
<i>Ilustración 6 Canal con vertedero rectangular (Zamy, 2015).</i>	21
<i>Ilustración 7 Red de tuberías con válvulas y medidores de presión (OPUS, 2016).</i>	21
<i>Ilustración 8 Equipo de análisis de cuenca hidrográfica (SUTEK, 2015).</i>	22
<i>Ilustración 9 Plano de distribución estructural del laboratorio de la Universidad Nacional de Córdoba (Universidad Nacional de Córdoba, 2011).</i>	23
<i>Ilustración 10 Tanque enterrado del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga.</i>	29
<i>Ilustración 11 Tanque elevado del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede de Zúñiga.</i>	29
<i>Ilustración 12 Bombas en paralelo del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede de Zúñiga. (1/2)</i>	30
<i>Ilustración 13 Bombas en paralelo del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede de Zúñiga. (2/2)</i>	31
<i>Ilustración 14 Serie y modelo de las bombas del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede de Zúñiga.</i>	32
<i>Ilustración 15 Descripción del motor de las bombas del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede de Zúñiga.</i>	32

<i>Ilustración 16 Tornillo de la estructura que controla la inclinación del canal del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 17 Tuberías que llegan del tanque elevado a las tres secciones del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga (1/3).....</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 18 Tuberías que llegan del tanque elevado a las tres secciones del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga (2/3).....</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 19 Tuberías que llegan del tanque elevado a las tres secciones del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga (3/3).....</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 20 Compuerta deslizante del canal del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga.</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 21 Compuerta de celosía del canal del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga.</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 22 Motor de la compuerta deslizante del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga.....</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 23 Limnómetro de punta del canal del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga.</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 24 Canasta con pelotas plásticas (disipador de energía) del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga.....</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 25 Vertedero triangular de 90° del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga.</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 26 Pequeño tanque elevado para la práctica de pozo de oscilación del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga.</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 27 Tubo de oscilación abierto a la atmósfera del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga (1/2).</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 28 Tubo de oscilación abierto a la atmósfera del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga (2/2).</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 29 Válvula de compuerta para el golpe de ariete del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga.....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 30 Vertedero triangular de 60° y disipador de energía del fluido del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga.....</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 31 Red de tuberías del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga.</i>	<i>44</i>

<i>Ilustración 32 Tomas de presión estática del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga.</i>	45
<i>Ilustración 33 Medidor eléctrico de presión del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga.</i>	45
<i>Ilustración 34 Válvulas bola del tablero de conexiones del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga.</i>	46
<i>Ilustración 35 Sensor de presión del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga.</i>	46
<i>Ilustración 36 Vertedero triangular de 60° y dissipador de energía del fluido del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga.</i>	47
<i>Ilustración 37 Curva de bomba NM 40/20. Tomado de: Bombas centrífugas monobloc con bridas.</i>	49
<i>Ilustración 38 Riesgos físicos del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga (1/4).</i>	52
<i>Ilustración 39 Riesgos físicos del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga (2/4).</i>	52
<i>Ilustración 40 Riesgos físicos del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga (3/4).</i>	53
<i>Ilustración 41: Riesgos físicos del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga (4/4).</i>	53
<i>Ilustración 42 Bombas de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.</i>	62
<i>Ilustración 43 Canal de pendiente variable de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.</i>	63
<i>Ilustración 44 Canal fijo de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.</i>	64
<i>Ilustración 45 Canal de oleaje de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.</i>	65
<i>Ilustración 46 Banco de caudalímetros de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.</i>	65
<i>Ilustración 47 Canal curvo de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.</i>	66
<i>Ilustración 48 Canal didáctico de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.</i>	66

<i>Ilustración 49 Banco de pérdidas de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.</i>	67
<i>Ilustración 50 Banco de bombas en serie y paralelo de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.</i>	68
<i>Ilustración 51 Modelo de embalse de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.</i>	69
<i>Ilustración 52 Bombas de la Universidad EAFIT.</i>	70
<i>Ilustración 53 Canal de pendiente variable de la Universidad EAFIT.</i>	71
<i>Ilustración 54 Red de pérdidas en accesorios y tuberías de la Universidad EAFIT.</i>	72
<i>Ilustración 55 Almenara de la Universidad EAFIT.</i>	72
<i>Ilustración 56 Banco Hidráulico (Armfield, 2017).</i>	77
<i>Ilustración 57 Estática de Fluidos y Manometría (Armfield, 2017).</i>	77
<i>Ilustración 58 Aparato para Propiedades de Fluidos (Armfield, 2017).</i>	78
<i>Ilustración 59 Tubo Pitot de Demostración (Armfield, 2017).</i>	79
<i>Ilustración 60 Canal Hidráulico Multipropósito de 5.0 m (Armfield, 2017).</i>	80
<i>Ilustración 61 Tubo Pitot y Manómetro (TecnoEdu, 2017).</i>	80
<i>Ilustración 62 Lecho endurecido artificialmente (TecnoEdu, 2017).</i>	81
<i>Ilustración 63 Mediciones de Fricción en Fluidos (Armfield, 2017).</i>	81
<i>Ilustración 64 Aparato de Oscilación de Presión y Golpe de Ariete (Armfield, 2017).</i>	82
<i>Ilustración 65 Mesa de Flujo Laminar (Armfield, 2017).</i>	82
<i>Ilustración 66 Redes de Tuberías (Armfield, 2017).</i>	83
<i>Ilustración 67 Sistema Avanzado de Estudio Hidrológico (Armfield, 2017).</i>	83
<i>Ilustración 68 Redes de Tuberías (G.U.N.T., 2017).</i>	84
<i>Ilustración 69 Determinación de la Velocidad de Sedimentación (G.U.N.T.).</i>	84
<i>Ilustración 70 Estudios Hidrológicos Ampliados (G.U.N.T., 2017).</i>	85

<i>Ilustración 71 Módulo Básico para Ensayos de Mecánica de Fluidos (G.U.N.T., 2017). ...</i>	86
<i>Ilustración 72 Pérdidas en un Sistema de Tuberías (G.U.N.T., 2017).</i>	86
<i>Ilustración 73 Flujo Potencial (G.U.N.T., 2017).</i>	87
<i>Ilustración 74 Equipo de Golpe de Ariete (G.U.N.T., 2017).</i>	87
<i>Ilustración 75 Canal de Ensayos 86*300 mm (G.U.N.T., 2017).</i>	88
<i>Ilustración 76 Elemento de Prolongación del Canal de Ensayo (G.U.N.T., 2017).</i>	88
<i>Ilustración 77 Compuerta Plana Deslizante (G.U.N.T., 2017).</i>	89
<i>Ilustración 78 Juego de Vertederos de Cresta Delgada (G.U.N.T., 2017).</i>	89
<i>Ilustración 79 Vertedero de Cresta Ancha (G.U.N.T., 2017).</i>	90
<i>Ilustración 80 Vertedero Crump (G.U.N.T., 2017).</i>	90
<i>Ilustración 81 Tubo de Pitot Estático (G.U.N.T., 2017).</i>	91
<i>Ilustración 82 Canal de Venturi (G.U.N.T., 2017).</i>	91
<i>Ilustración 83 Indicador del Nivel de Agua (G.U.N.T., 2017).</i>	92
<i>Ilustración 84 Base del Canal con Grava (G.U.N.T., 2017).</i>	92
<i>Ilustración 85 Fundamentos de la Medición de la Presión (G.U.N.T., 2017).</i>	93
<i>Ilustración 86 Planta del nuevo laboratorio de recursos hídricos de la Universidad EIA.</i>	117

RESUMEN

Actualmente el laboratorio de hidráulica que se encuentra en la sede de Zúñiga cuenta con algunos problemas como: número limitado de prácticas, localización en la sede que no es de pregrado, equipos antiguos y con desgaste, y espacios reducidos para la movilización de los usuarios y visualización de los fenómenos. Para dar solución a tales problemas se establecerán una serie de alternativas, que serán estudiadas y calificadas para luego escoger la más adecuada y realizar el diseño del laboratorio.

Para ello se necesitará de una investigación del estado actual del laboratorio, las prácticas que ofrece y las que podría ofrecer para integrar a todas las áreas académicas que sea posible. Adicionalmente se requerirá del conocimiento del estado del arte en cuanto a diseño y distribución de espacios en instalaciones de laboratorios de recursos hídricos a nivel nacional e internacional.

Como resultado se tendrá la evaluación y el diseño del laboratorio de recursos hídricos de la Universidad EIA de la sede de Las Palmas mediante la implementación de la alternativa seleccionada, para que sea suficiente a los requerimientos de la institución, moderno, eficaz y sostenible ambiental y económicamente. De manera complementaria se incluirá un análisis de costos y un cronograma que sea factible para la institución, y que posea la infraestructura y tecnología que se ajuste a las necesidades de la misma.

ABSTRACT

Currently, the hydraulic laboratory at Zúñiga headquarters has some problems such as: limited number of practices, undesired location at the postgrade headquarters, old and deteriorated equipment and reduced spaces for the mobilization and visualization of phenomena. To give a solution to these problems we will set a series of alternatives, which are studied and qualified. Then, the most appropriate alternative is chosen and it's used for the design of the laboratory.

For this it will be needed an investigation of the real state of the laboratory, the practices it offers and what it can provides to integrate the highest percentage of academic areas. Additionally, knowledge of the state of the art in terms of design and distribution of spaces in national and international water resource laboratory facilities is also required.

As a result, it will be given the evaluation and design of the laboratory of water resources at headquarters Las Palmas of the University EIA by implementing the selected alternative, which has to be sufficient for the requirements of the institution, modern, efficient and environmental and economically sustainable. Additionally, it includes a cost analysis and a schedule that is feasible for the institution, and that has the infrastructure and technology that meets the needs of the institution.

INTRODUCCIÓN

La Universidad EIA, se encuentra actualmente construyendo algunos de los bloques faltantes en el plan maestro de la sede Las Palmas, dentro de los cuales están el auditorio, la biblioteca y los laboratorios. En este último bloque mencionado hay un espacio dedicado al nuevo laboratorio de hidráulica, para el cual la institución aún no cuenta con diseños precisos de la infraestructura y equipos requeridos.

En el presente trabajo se analizan diversas opciones para que la Universidad EIA lleve a cabo este proyecto. Se comienza por realizar un diagnóstico del actual laboratorio ubicado en la sede de Zúñiga, verificando el estado y la funcionabilidad de los equipos, para establecer cuáles deberían ser reemplazados, o cuáles aún podrían ser utilizados por la institución. De esa manera se constituye la primera alternativa: el traslado de los equipos del laboratorio de hidráulica de la sede de Zúñiga a la sede de Las Palmas.

Posteriormente se proponen otras dos alternativas con equipos nuevos, unos nacionales y otros internacionales. Una vez establecidas las tres opciones, se procede a compararlas y calificarlas en los siguientes cinco aspectos:

- Académico: se analiza la cobertura que tiene cada alternativa de los temas pertenecientes a las asignaturas de interés.
- Técnico: se examinan las capacidades de los equipos, accesorios disponibles, desempeño, tecnología y requerimientos para su funcionamiento.
- Económico: para este aspecto se tiene en cuenta no sólo el costo de adquisición, sino también el de operación y mantenimiento.
- Ambiental: en este aspecto se estudian los impactos al medio ambiente generados por el funcionamiento de los equipos y las actividades conexas a cada alternativa.
- Seguridad: es un aspecto que cobra una importancia vital, dado que en un ambiente de laboratorio hay riesgos que pueden afectar la integridad de las personas (estudiantes, docentes, laboratoristas). Se evalúa entre las opciones cuál es la más segura en términos de menores riesgos.

Esto da como resultado la alternativa óptima para la institución, la cual será diseñada de acuerdo con el espacio disponible y las instalaciones sanitarias y eléctricas que posea la Universidad EIA.

1. PRELIMINARES

1.1 CONTEXTUALIZACIÓN

Actualmente, la Universidad EIA cuenta con un laboratorio de hidráulica ubicado en la sede de Zúñiga, el cual, si bien ha venido supliendo parte de las necesidades, hoy en día presenta diversos problemas que limitan su eficiencia en la institución, dichos problemas son:

1. Número limitado de prácticas:

En el laboratorio se pueden desarrollar prácticas de los temas de vertederos, pérdidas en tuberías, canal abierto y pozo de oscilación. Sin embargo tales prácticas se restringen únicamente al área de hidráulica, dejando a otras áreas académicas, tales como la hidroclimatología, calidad y tratamiento de aguas, hidrogeología y el suministro y disposición de aguas, sin atender.

2. Localización:

La ubicación del laboratorio hoy en día resulta incómoda para muchos de los estudiantes debido al hecho de que es en la sede de Las Palmas donde se desarrollan la mayoría de las actividades académicas de los pregrados, y al no todos disponer de automóvil o algún medio de transporte público, se hace difícil cumplir con los horarios y llegar a tiempo, ya sea al laboratorio, o de regreso a la sede de Las Palmas o la casa (la cual también puede estar distante de la sede de Zúñiga).

3. Equipos viejos y deteriorados:

El estado de los equipos del laboratorio no es el mejor, muchos presentan desgaste, filtraciones y en ocasiones generan imprecisión a la hora de tomar los datos y realizar los cálculos, además de seguir operando con métodos muy manuales y algunas adaptaciones modernas que no garantizan la solución de los problemas de precisión, como el caso de los sensores de presión electrónicos de la red de tuberías, los cuales dan lecturas no estables.

4. Espacio reducido que dificulta la movilidad y apreciación de los ensayos:

Moverse al interior del laboratorio requiere de cuidado y atención, ya que hay muchas partes de la estructura (tubería, pozo, canal) y accesorios inutilizados que están atravesados por los lugares en los que se debe caminar, lo cual genera un riesgo para los usuarios. Por otro lado al no haber tanto espacio disponible para circular, la visualización de los fenómenos por todos los estudiantes durante la práctica se hace complicada.

Con el fin de solucionar dichos problemas, se propone encontrar una alternativa que permita aprovechar el espacio del campus de la sede de Las Palmas para la implementación de un laboratorio que no sólo tenga en cuenta la hidráulica, sino las demás áreas académicas y que llamaremos en este trabajo Laboratorio de Recursos Hídricos.

Lo anterior requiere de un análisis del estado real y detallado de las instalaciones de Zúñiga, y compararlas con las instalaciones de varias universidades nacionales e internacionales, al igual que evaluar los equipos que estas presentan para las áreas académicas que no son incluidas en el actual laboratorio.

Se plantearán alternativas de diseño, la cuales serán comparadas y calificadas en varios aspectos: académico, económico, técnico, ambiental y de seguridad, para así encontrar una solución óptima que permita satisfacer las necesidades de las ingenierías civil, ambiental y geológica (y en pequeña proporción ingeniería mecánica y biomédica), con un laboratorio seguro y eficiente, que cumpla con las especificaciones y requerimientos de la Universidad EIA.

Finalmente se evalúa y diseña el laboratorio de recursos hídricos de la Universidad EIA en la sede de Las Palmas implementando la alternativa seleccionada.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2.1 Objetivo General

Proponer un diseño para el laboratorio de recursos hídricos de la sede de Las Palmas de la Universidad EIA, que responda a las necesidades, que esté de acuerdo con las tendencias nacionales e internacionales y sea factible su implementación en la institución.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar el estado actual del Laboratorio de Hidráulica de la Sede de Zúñiga de la Universidad EIA, las necesidades de la institución y las tendencias de laboratorios en Colombia y el mundo.
- Efectuar estudio de prefactibilidad de las posibles opciones para el diseño del laboratorio de recursos hídricos.
- Elaborar el diseño del laboratorio con la opción más indicada de acuerdo con los criterios establecidos por las necesidades de la institución, que contemple selección de equipos, presupuesto de inversión, distribución en planta, servicios requeridos y condiciones especiales y de seguridad.

1.3 MARCO DE REFERENCIA

1.3.1 Laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA

El laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA de 166 m² fue prediseñado inicialmente por Jorge Mario Gómez Jaramillo y José Rodrigo Tamayo Zuluaga para su trabajo de tesis en 1988 y fueron acompañados por Carlos Felipe Londoño Álvarez actual rector de la Universidad EIA. Se pretendía que el laboratorio permitiera el “desarrollo simultáneo de varias prácticas y trabajos de investigación en las estructuras que mejor caracterizan los fenómenos básicos de la hidráulica” (Gómez Jaramillo & Tamayo Zuluaga, 1988).

Las diferentes estructuras del laboratorio operarían de manera independiente y estarían acompañadas por cuatro obras externas:

Estructuras:

- Canal de pendiente ajustable
- Sistema para estudio de chimeneas de equilibrio
- Ariete hidráulico
- Sistema de maquinaria hidráulica con base en la turbina Pelton
- Red de tuberías para evaluación de pérdida de carga
- Red cerrada de tuberías

Obras externas:

- Pozo artesiano para suministro de agua
- Tanque enterrado
- Caseta de bombas
- Tanque elevado para la alimentación por gravedad

Para la ejecución de cualquier práctica se debía llevar a cabo el siguiente procedimiento: “mediante el agua del pozo o del acueducto, se llena el tanque enterrado y cuando cuente con su capacidad volumétrica total, se bombea el agua hasta el tanque elevado de carga hidráulica constante, el cual abastece las estructuras internas” (Gómez Jaramillo & Tamayo Zuluaga, 1988). Durante las prácticas el agua retorna al tanque enterrado, se recircula y al terminar, una parte del agua utilizada queda en el tanque enterrado para ser reutilizada en otra ocasión y otra parte en el tanque elevado.

Actualmente el laboratorio no posee la misma estructura planteada hace 29 años, no se cuenta con ariete hidráulico ni sistemas de maquinaria hidráulica con base en la turbina Pelton, la red de tuberías no tiene sistemas de instrumentación para registro y no se posee un pozo artesiano para suministro de agua.

De la Ilustración 1 a la Ilustración 4, se presentan algunas instalaciones y equipos del actual laboratorio.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Ilustración 1 Vertedero triangular del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA sede Zúñiga.



Ilustración 2 Canal de pendiente variable del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA sede Zúñiga.



Ilustración 3 Válvula del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA sede Zúñiga.



Ilustración 4 Red de tuberías del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA sede Zúñiga.

1.3.2 Tendencias en instalación y operación en el mundo

El presente proyecto requiere conocer y analizar cómo las universidades en Colombia (específicamente en Medellín) y en otros países han suplido y cubierto la necesidad académica de demostrar físicamente diversos fenómenos relacionados con el recurso hídrico.

A nivel local se estudiarán y describirán principalmente los laboratorios hidráulicos de dos universidades: Universidad EAFIT y Universidad Nacional de Colombia. A nivel internacional se realizará una observación general de las tendencias en instalaciones de algunas universidades como: Universidad de Bangor, Universidad de Castilla – La Mancha (UCLM), Universidad Politécnica de Valencia (UPV), Universidad Nacional de Córdoba (UNC), La Universidad Politécnica de Cartagena (UPC), Universidad de Texas, la Universidad de Bureau, el Centro de Investigación de Recursos Hídricos y la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. A continuación se enuncian dichas observaciones.

Son diversas las instalaciones y dimensiones de los laboratorios de hidráulica a nivel mundial, con áreas que van desde los 100 m² hasta los 3000 m². Algunos de estos laboratorios poseen equipos de grandes dimensiones, como tuberías de más de 10 pulgadas de diámetro y canales de más de 30 metros de longitud, como otros que cuentan con pequeñas redes de tubería de no más de 2 pulgadas de diámetro y sin grandes espacios para ubicar canales o modelos de presas.

Las características de dichas instalaciones dependen mucho de la capacidad económica de la universidad y del peso que tenga el área de la hidráulica en la misma, por lo que los laboratorios con mejor equipamiento suelen ser de las universidades que cuentan, no solo con pregrados en ingeniería civil, sino también con maestrías y doctorados en el área. Adicionalmente algunas de estas instituciones prestan sus laboratorios para estudios e

investigaciones de otras universidades y organizaciones, con el objetivo de adquirir conocimientos y aplicarlos en la solución de problemas y desarrollo de proyectos.

Para el desarrollo de prácticas de flujo libre, las universidades tienden a utilizar más de un tipo de canal: de pendiente fija o variable, de movimiento en curva, de movimiento bidimensional, de flujo multifásico y de oleaje o corriente (ver Ilustración 5). También se emplean vertederos, principalmente rectangulares y triangulares que se acoplan de manera eficiente y sin necesidad de acondicionamiento adicional para su correcto funcionamiento (ver Ilustración 6).



Ilustración 5 Canal de oleaje (Universidad de Bangor, 2016).

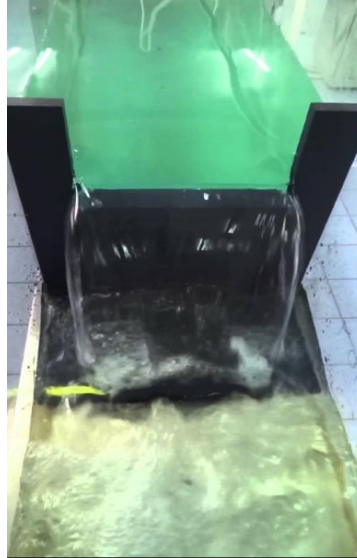


Ilustración 6 Canal con vertedero rectangular (Zamy, 2015).

Por otro lado, para las prácticas de flujo confinado, se utilizan redes de tuberías de diferentes materiales (PVC y acero galvanizado) y diferentes diámetros, a lo cual se le adiciona un banco de pruebas de presión hidráulica en las tuberías y banco de ensayos de conductos a presión (ver Ilustración 7). Además cuentan con las adecuaciones requeridas para realizar el análisis del golpe de ariete, válvulas compuerta y tubos de oscilación que permiten visualizar y analizar este fenómeno.



Ilustración 7 Red de tuberías con válvulas y medidores de presión (OPUS, 2016).

Otra de las áreas importantes de estudio es la hidrología, dentro de la cual, se estudian las cuencas hidrográficas. Algunas instituciones cuentan con un sistema de análisis avanzado

de hidrología, que permite observar el recorrido que toman las aguas lluvia en una cuenca, desde que caen a la superficie hasta que todas llegan a un mismo afluente (ver Ilustración 8).



Ilustración 8 Equipo de análisis de cuenca hidrográfica (SUTEK, 2015).

A nivel de software, las universidades tienen sistemas de simulación hidrológica (HMS, VHM, SWRRB, Mike11-NAM), cálculo y simulación de flujo no permanente en redes de agua, análisis de pruebas de bombeo (aquifer test), entre otros. Algunos de estos laboratorios hidráulicos incluyen en sus instalaciones sensores de ultrasonido y equipos de fotografía y video, para registros adicionales.

Generalmente los caudales trabajados oscilan entre los 10 L/s a los 700 L/s, dependiendo de la posición de los tanques, la capacidad de la bomba y la disposición de las tuberías. Normalmente los laboratorios de aproximadamente 200 m² pueden tener caudales entre 30 L/s y 180 L/s. Se hace énfasis en esta dimensión, ya que es el área que más se acerca a la requerida, 160 m² de acuerdo con los planos proyectados por la Universidad EIA en su plan de expansión. No obstante, en caso de ser requerido por los diseños, podría solicitarse a la institución el aumento del área dispuesta inicialmente para el laboratorio, de tal forma que se puedan realizar las prácticas deseadas por las diferentes ingenierías que tienen asignaturas de recursos hídricos. Se toma como referencia de distribución espacial al laboratorio de hidráulica de la Universidad Nacional de Córdoba (ver Ilustración 9).

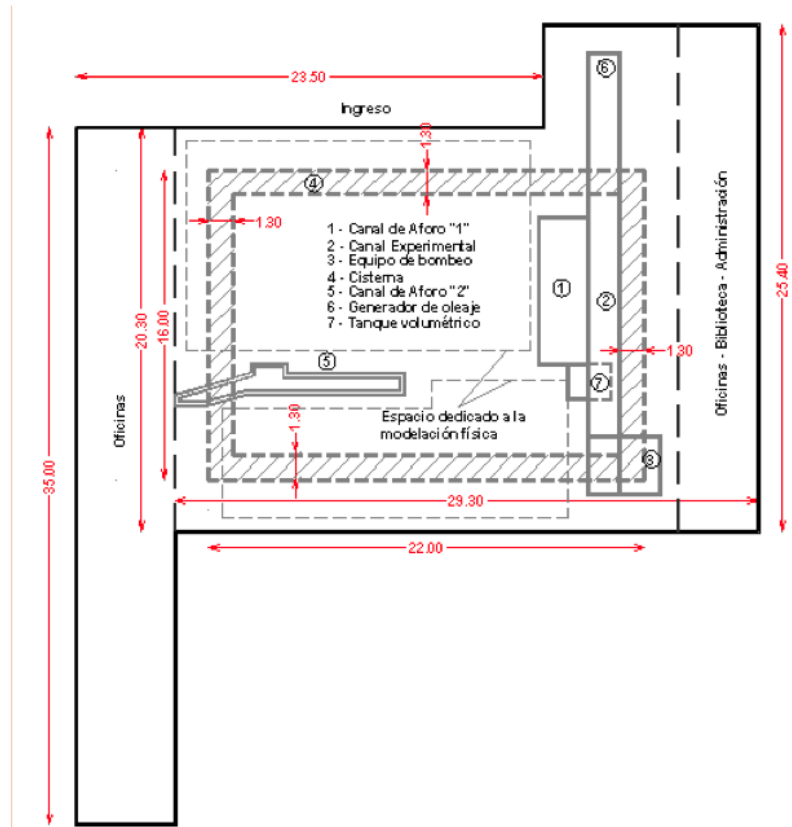


Ilustración 9 Plano de distribución estructural del laboratorio de la Universidad Nacional de Córdoba (Universidad Nacional de Córdoba, 2011).

Los laboratorios de hidráulica de las universidades estudiadas incluyen en su infraestructura sistemas para la medida e interpretación de fenómenos de erosión, socavación y cavitación, trampas de sedimentos y desarenadores. Además poseen bancos de pruebas de turbinas tipo Pelton y Francis, en los cuales se cuenta con instrumentos de medición del caudal, velocidad y presión con el que llega el agua, lectura de la energía producida y análisis de la eficiencia de la bomba.

2. METODOLOGÍA

2.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

2.1.1 Determinación de los requerimientos del laboratorio de hidráulica

En primer lugar se llevará a cabo una identificación de las condiciones actuales del laboratorio de hidráulica de la sede Zúñiga de la Universidad EIA. Se procederá con un análisis de los microcurrículos de cada una de las asignaturas de diferentes áreas de la ingeniería que posiblemente harían uso de tal espacio. Lo anterior con el fin de conocer las necesidades que no han sido cubiertas por las instalaciones del laboratorio.

2.1.2 Revisión de las tendencias en instalación y operación de los laboratorios de hidráulica en el mundo

Se hace una recopilación de datos de laboratorios de distintas universidades a nivel nacional, donde se precisan los equipos, tecnologías, consideraciones de diseño y distribución, capacidades y materiales utilizados para la estructuración y funcionamiento de los laboratorios mismos, a la vez que se revisan algunas instituciones internacionales que sirvan como posible referencia, pero no serán profundizadas, debido a la dificultad para acceder físicamente a sus instalaciones. Tal búsqueda sirve para guiar y orientar al óptimo y eficiente diseño del laboratorio de recursos hídricos de la Universidad EIA en la sede de Las Palmas, de manera que pueda responder y ser consistente con el alto nivel de enseñanza de la institución.

2.2 PROCEDIMIENTO

2.2.1 Identificación de alternativas de diseño

Una vez conocidas las necesidades del actual laboratorio de hidráulica y las tendencias en laboratorios de recursos hídricos en Colombia y el mundo, se procede a plantear posibles opciones de alternativas de diseño.

2.2.2 Estudio de prefactibilidad

Para una elección óptima y certera se estudian las alternativas propuestas en diferentes aspectos que se describen a continuación.

- Evaluación técnica: aquí se “contemplan los aspectos técnicos operativos necesarios en el uso eficiente de los recursos disponibles” (Universidad Nacional Autónoma de México UNAM, 2017). Entre los aspectos que serán considerados están:

- Distribución en planta. Implica la manera en la que serán organizados físicamente los elementos dentro del laboratorio, para ello se tendrá en cuenta: los espacios para el movimiento de materiales o equipos, almacenamiento, desarrollo de actividades y mantenimiento.
 - Disponibilidad y facilidad de adquisición, transporte, instalación y mantenimiento de maquinaria y equipos. En caso de ser equipos nuevos se tiene en cuenta el tiempo de espera para la recepción del pedido.
 - Dimensiones, peso, consumo de agua y energía de los equipos.
 - Adquisición y accesibilidad a software.
 - Disponibilidad de espacio para la circulación de las personas y la visualización completa de fenómenos.
- Evaluación académica: es importante calificar las alternativas de acuerdo con la utilidad que tendrán para las áreas hídricas que se pretenden impactar, en términos académicos (de docencia) e investigativos. Se evaluará la calidad, precisión y cantidad de ensayos que puedan ser desarrollados con los equipos y la versatilidad de prácticas que estos pueden ofrecer.
 - Evaluación económica: los diferentes costos en los que incurra cada una de las alternativas deben ser considerados a la hora de escoger la solución óptima, esto debido a que se tiene un presupuesto ya definido y limitado por la Universidad EIA para la conformación del laboratorio. Algunos de los costos a considerar son:
 - Desmonte, transporte, instalación y mantenimiento de los equipos existentes en el laboratorio de Zúñiga.
 - Adquisición, instalación y mantenimiento de equipos nuevos.
 - Consumo de agua y energía anual de los equipos a utilizar.
 - Evaluación ambiental: se analizarán los impactos ambientales que generen las diferentes opciones, ya sea por longitud del transporte, gasto de agua, gasto energético o producción de residuos.
 - Evaluación de seguridad: se debe garantizar que la alternativa seleccionada no ponga en peligro evidente a las personas que ingresen al lugar y que todos los riesgos (físicos, mecánicos, eléctricos, químicos, biológicos, etc.) sean tenidos en cuenta y gestionados de manera preventiva.

2.2.3 Diseño del laboratorio

Posterior a la evaluación de las alternativas, se definirán en compañía de la Universidad EIA, los criterios y porcentajes con los cuales se calificará cada ítem con el fin de obtener una calificación final de las opciones, y de esta manera escoger la más adecuada para ejecutar el diseño.

Se comenzará por determinar los equipos que se instalarán, para con estos realizar el presupuesto de inversión del laboratorio, incluyendo transporte y mantenimiento de los mismos. Luego se buscará la mejor distribución de los equipos en el espacio que se tiene previsto para el laboratorio, para así poder determinar los servicios que la estructura debe tener para poder ponerlo en funcionamiento.

2.3 CRONOGRAMA, PRESUPUESTO Y PROPUESTA A LA UNIVERSIDAD

El cronograma se propone de acuerdo con el calendario académico y el tiempo en el cual se espera concluir con el diseño del laboratorio de recursos hídricos de la Universidad EIA.

Por otro lado, el presupuesto del proyecto se estructura teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Equipos a emplear: se analizan cuáles son los posibles equipos que se podrían necesitar para la elaboración de la propuesta.
- Visitas: se le dará un precio a la movilidad y posibles costos de entrada a los diferentes lugares que se deba ir en busca de información.

Adicionalmente, se presentan a la institución una propuesta de cronograma y presupuesto para la ejecución del proyecto, los cuales tienen las siguientes bases:

- Precio de materiales, equipos y software (licencias o los programas como tal). Incluye posibles costos de envío o impuestos. Además de añadirse el valor aproximado de la energía y agua que el laboratorio diseñado consumiría mensual y anualmente.
- Precio de mano de obra: instalación de equipos y artefactos adicionales dentro y fuera del laboratorio, automatización del laboratorio, mantenimiento, entre otros.
- Tiempo por etapas de la construcción del espacio previsto para el laboratorio de hidráulica.
- Tiempo de suministro por parte de proveedores (incluyendo: pedido, envío y entrega) de materiales, equipos, software, entre otros.
- Orden y tiempo en que cada sector del laboratorio será dotado y acondicionado, para lo cual se sugiere lo siguiente:
 1. Las instalaciones de suministro eléctrico e hidráulico.
 2. Estructuras de apoyo para los diferentes equipos.

3. Instalación de equipos.

3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 DIAGNÓSTICO

3.1.1 Evaluación del estado actual del laboratorio

Actualmente el laboratorio de hidráulica, como ya se ha expresado con anterioridad, se encuentra ubicado en la sede de Zúñiga de la Universidad EIA. En esta etapa de diagnóstico se pretende caracterizar y analizar las instalaciones, equipos y herramientas de dicho laboratorio desde diferentes perspectivas: técnica, académica, económica, ambiental y de seguridad.

- **Evaluación técnica:**

La base del funcionamiento del laboratorio son dos tanques, uno enterrado con una capacidad de 4 m³ aproximadamente (ver Ilustración 10) y otro elevado con una capacidad de: 8 m³ (ver Ilustración 11), los cuales se encargan de almacenar y suministrar el agua que llega al resto del sistema mediante dos bombas centrífugas dispuestas en paralelo (ver Ilustración 12 e Ilustración 13). Estas bombas fueron fabricadas por INDUSTRIAS HIDROMECÁNICAS LTDA (Bogotá Colombia – ver Ilustración 14) y cuentan con motores trifásicos marca SIEMENS de 9 HP cada uno (ver Ilustración 15).

Para llenar el tanque elevado se necesita llenar dos veces el tanque enterrado. El bombeo del agua contenida en el tanque enterrado requiere de una hora, en la cual, el sistema debe estar en continuo funcionamiento para llevar el agua hacia el tanque elevado.

Durante las prácticas de laboratorio el bombeo debe ser constante, con el fin de garantizar que el tanque elevado mantenga su nivel máximo, y la cabeza de presión que éste otorga al laboratorio sea relativamente constante.

Al finalizar las prácticas, el tanque enterrado se suele encontrar aproximadamente en la mitad de su capacidad, debido a que el tanque elevado se encuentra completamente lleno y no se hace necesario que el tanque enterrado esté en su capacidad completa.



Ilustración 10 Tanque enterrado del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga



Ilustración 11 Tanque elevado del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede de Zúñiga.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Ilustración 12 Bombas en paralelo del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede de Zúñiga. (1/2)



Ilustración 13 Bombas en paralelo del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede de Zúñiga. (2/2)



Ilustración 14 Serie y modelo de las bombas del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede de Zúñiga.



Ilustración 15 Descripción del motor de las bombas del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede de Zúñiga.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Como puede apreciarse en la Ilustración 11, el tanque elevado tiene 5 tuberías conectadas, una de ellas es la proveniente del tanque enterrado la cual se encarga de llenarlo, las otras tres son empleadas para el suministro del laboratorio y la última es usada como rebosadero, el cual se encarga de retornar el agua al tanque enterrado en los casos en los que el tanque elevado supere su capacidad máxima durante las prácticas.

El laboratorio se divide en tres secciones principales y para cada una de ellas se dispone una tubería que proviene del tanque elevado (ver Ilustración 17, Ilustración 18 e Ilustración 19). A continuación se presenta una descripción de tales secciones:

Sección 1:

Corresponde a la tubería que llega al canal hidráulico de pendiente variable el cual tiene una longitud de 6 m. Cuenta con dos compuertas, una aguas arriba (compuerta deslizante de descarga inferior – ver Ilustración 20) y otra aguas abajo (compuerta de celosía – ver Ilustración 21), la primera se acciona mediante un motor (ver Ilustración 22) y la segunda se modifica manualmente con una perilla. Adicionalmente a lo largo del canal se encuentran medidores manuales (reglas posicionadas verticalmente – limnímetros de punta) del nivel del agua (ver Ilustración 23).

A pesar de que el canal es de pendiente variable, actualmente tiene la limitante de no poder posicionarse de manera horizontal, ya que el tornillo de la estructura que controla la inclinación del canal (ver Ilustración 16) no es lo suficientemente largo.



Ilustración 16 Tornillo de la estructura que controla la inclinación del canal del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga

Cuando el agua sale del canal pasa por una canasta con pelotas plásticas (ver Ilustración 24) la cual funciona como disipador de energía del fluido, y luego atraviesa un vertedero triangular de 90° (ver Ilustración 25). De igual manera se disponen dos medidores de nivel de agua a lo largo del canal.

Una vez el agua sale del vertedero, pasa por otro disipador de energía y retorna al tanque enterrado.

Sección 2:

En esta sección se cuenta con el sistema almenara. Inicialmente el agua llega a un pequeño tanque elevado (ver Ilustración 26) de poco menos de 1 m³ de capacidad, el cual almacena el agua con el fin de “aislar” el sistema y evitar que se produzca el fenómeno en toda la tubería del laboratorio y se afecten las demás prácticas que se estén llevando a cabo. De manera adicional este tanque cuenta con un rebosadero, el cual comunica con la tubería en una sección posterior, con el fin de retornar el fluido al tanque enterrado.

Del pequeño tanque elevado se procede con una tubería que cuenta con un tubo de oscilación abierto a la atmósfera (ver Ilustración 27 e Ilustración 28), marcado con escala para medir distancia, una válvula de compuerta (ver Ilustración 29) y una válvula de bola; la cual, una vez es cerrada, produce el fenómeno del golpe de ariete, haciendo que el agua comience a oscilar en la almenara, en la cual se podrán registrar los valores entre los cuales fluctúa el fluido. Posteriormente el agua pasa a un pequeño vertedero triangular de 60°, luego atraviesa un disipador de energía (ver Ilustración 30) y finalmente llega al canal que devuelve el flujo al tanque enterrado.

Sección 3:

Comienza por la red de tuberías que está compuesta por tres ramales (ver Ilustración 31). Cada uno de estos cuenta con placa de orificio, secciones de distintos diámetros (intermedio e inferior), y válvulas globo (inferior), mariposa (intermedio) y compuerta (superior).

Adicionalmente a lo largo de la red se encuentran tomas de presión estática permanentes (piezométricas) enumerados del 1 al 26, estas utilizan un sistema de cuatro orificios a 90° (ver Ilustración 32). Luego se lleva la presión del agua por medio de tubos flexibles (mangueras) hasta el tablero de conexiones (ver Ilustración 33).

En el tablero de conexiones, las mangueras llegan a unas tomas rápidas con válvulas de bola (ver Ilustración 34), las cuales permiten conectar sensores de presión (26 en total - ver Ilustración 35) sólo a las tomas que se desea medir y tener las demás aisladas (válvulas cerradas). Los sensores cuentan con transductores que envían la señal de presión a una consola de adquisición de datos, la cual permite registrar las mediciones en el computador.

Se requiere señalar que las mangueras son muy largas y deben llevarse por un recorrido intrincado que hace que sean susceptibles a perturbaciones que afecten la precisión de las medidas. Por otro lado, las mediciones de presión presentan oscilaciones, lo que las hace imprecisas.

Posteriormente, el agua llega a un vertedero triangular de 60°, el cual es el más usado para llevar a cabo las prácticas de vertederos. Sin embargo, este cuenta con orificios de drenaje, lo que hace necesario el uso de plastilina para “sellarlos” y poder hacer una medición precisa. Luego atraviesa un dissipador de energía, un vertedero rectangular y finalmente el agua llega al canal común, que la retorna al tanque enterrado. Véase Ilustración 36.



Ilustración 17 Tuberías que llegan del tanque elevado a las tres secciones del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga (1/3).



Ilustración 18 Tuberías que llegan del tanque elevado a las tres secciones del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga (2/3).

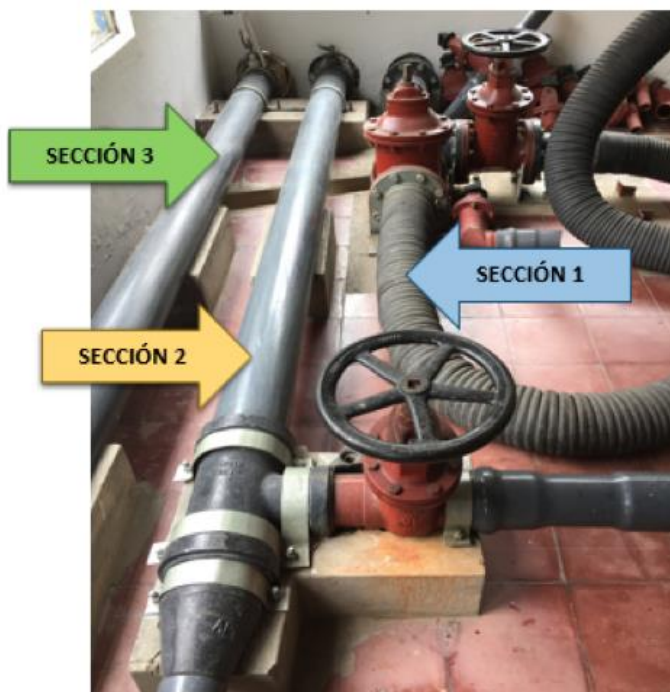


Ilustración 19 Tuberías que llegan del tanque elevado a las tres secciones del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga (3/3).



Ilustración 20 Compuerta deslizante del canal del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Ilustración 21 Compuerta de celosía del canal del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga.



Ilustración 22 Motor de la compuerta deslizante del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Ilustración 23 Limnómetro de punta del canal del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga.



Ilustración 24 Canasta con pelotas plásticas (disipador de energía) del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga.



Ilustración 25 Vertedero triangular de 90° del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Ilustración 26 Pequeño tanque elevado para la práctica de pozo de oscilación del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga.



Ilustración 27 Tubo de oscilación abierto a la atmósfera del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga (1/2).



Ilustración 28 Tubo de oscilación abierto a la atmósfera del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga (2/2).



Ilustración 29 Válvula de compuerta para el golpe de ariete del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Ilustración 30 Vertedero triangular de 60° y dissipador de energía del fluido del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga.



Ilustración 31 Red de tuberías del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Ilustración 32 Tomas de presión estática del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga.



Ilustración 33 Medidor eléctrico de presión del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

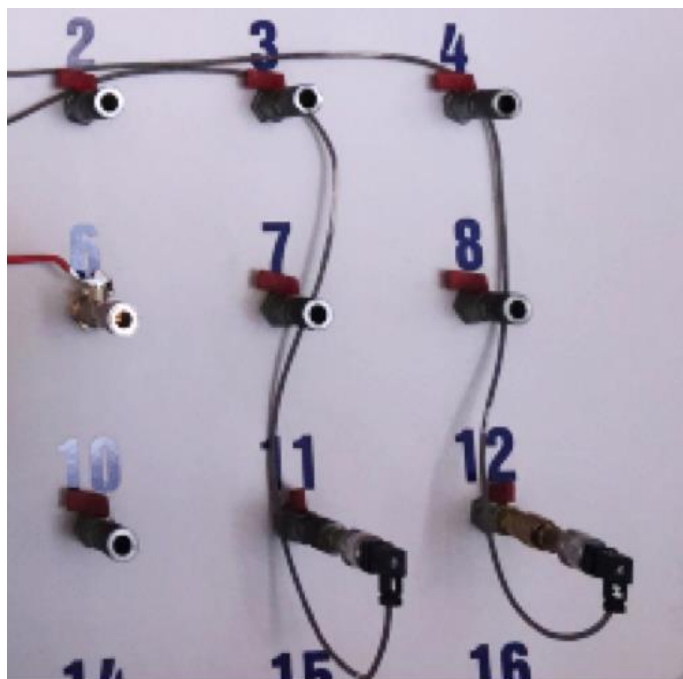


Ilustración 34 Válvulas bola del tablero de conexiones del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga.



Ilustración 35 Sensor de presión del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Ilustración 36 Vertedero triangular de 60° y dissipador de energía del fluido del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga.

- **Evaluación académica:**

Las prácticas académicas que se desarrollan hoy en día en el laboratorio de hidráulica, como su nombre lo indica, son netamente del área de hidráulica. Entre estas prácticas se tienen:

- Medidores de caudal o dispositivos de aforo en tuberías.
- Vertederos.
- Fricción en tuberías.
- Pérdidas locales.
- Energía específica.
- Resalto hidráulico.
- Bombas. (se realiza en la sede de Las Palmas)
- Pozo de oscilación.

Sin embargo, muchas otras áreas académicas de la Universidad EIA no pueden utilizar las instalaciones del laboratorio porque no se cuenta con equipos para la realización de sus prácticas.

Al revisar los distintos microcurrículos de las asignaturas relacionadas con procesos hídricos, se puede observar que varias de estas comparten temas y

que hay muchos aspectos académicos que se están quedando sólo en la teoría pudiendo hacerse una demostración práctica.

En términos numéricos, de los 52 temas correspondientes a las asignaturas evaluadas, solo 14 están siendo abordados en prácticas de laboratorio. Es decir, un 73% del contenido relacionado con recursos hídricos no cuenta con la posibilidad de demostración práctica.

- **Evaluación económica:**

Al ser un laboratorio de gran tamaño, tiene una demanda de agua bastante alta para llevar a cabo las prácticas, lo cual se ve reflejado en los consumos anuales.

Por otro lado, al contar con bombas tan viejas y de gran tamaño (potencia: 9 HP), el consumo energético requerido para el funcionamiento del laboratorio es elevado, ya que se necesita que estas permanezcan encendidas un largo periodo de tiempo, en el llenado del tanque elevado y durante las prácticas garantizando que este mantenga su nivel. A continuación, se calcula el consumo de agua y energético del sistema:

El laboratorio cuenta con un tanque elevado de 8 m³ aproximadamente, el cual es llenado para las prácticas junto con el enterrado de 4 m³. Dado que al finalizar dichas prácticas el tanque elevado queda lleno y el tanque enterrado suele terminar a la mitad de su capacidad (2 m³), se estima que para el funcionamiento del laboratorio se emplean alrededor de 10 m³.

Adicionalmente se realiza mantenimiento y limpieza a los tanques de 4 a 6 veces al año normalmente, por tanto, se puede suponer que el consumo de agua anual del laboratorio puede oscilar entre 40 y 60 m³.

El precio promedio del metro cúbico de agua de EPM se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1 Costo en el 2017 del consumo de agua por EPM en \$/m³.

Mes	\$/m ³
Enero	\$ 2.614
Febrero	\$ 2.614
Marzo	\$ 2.614
Abril	\$ 2.696
Mayo	\$ 2.696
Junio	\$ 2.696
Julio	\$ 2.749
Agosto	\$ 2.752
Septiembre	\$ 2.752
Octubre	\$ 2.752
Promedio	\$ 2.694

De acuerdo con lo anterior, se tiene entonces un costo de agua anual de:

$$\frac{2.694\$}{m^3} * 60m^3 = \$161.616$$

Las bombas en el mercado actual cuentan con una potencia de 7,5 HP y suelen tener la capacidad de brindar una altura entre 45 y 50 metros, con un caudal de 450 L/min. Sin embargo, las bombas presentes en el laboratorio de Zúñiga tardan 1 hora en trasladar el agua del tanque enterrado (4m³ aproximadamente), aun teniendo una mayor potencia (9HP).

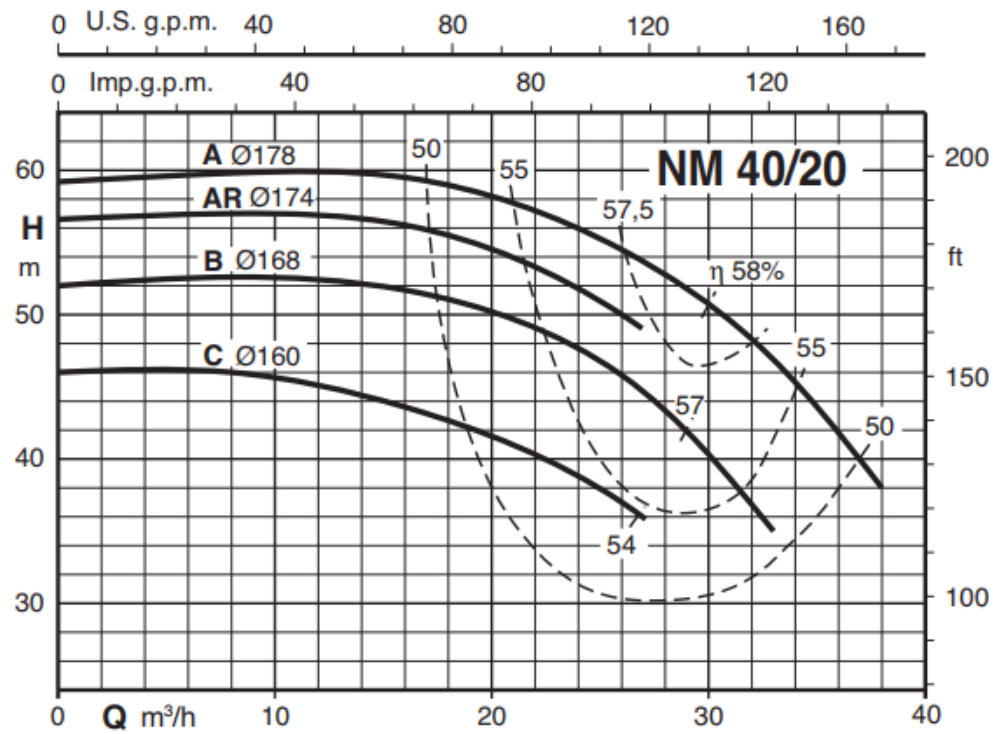


Ilustración 37 Curva de bomba NM 40/20. Tomado de: Bombas centrífugas monobloc con bridas

Con dos bombas modernas se tendría un caudal en m³/h de:

$$Caudal\ total = \frac{450l}{min} * 2 = \frac{900l}{min} = 54m^3/h$$

Con las bombas del actual laboratorio se tiene un caudal de 4m³/h aproximadamente, lo cual generaría una eficiencia relativa de las bombas de:

$$Eficiencia\ relativa = \frac{\frac{4m^3}{h}}{\frac{54m^3}{h}} * 100\% = 7,4\%$$

Esto deja ver el desgaste a lo largo de los años y obsolescencia de las mismas, lo cual se traduce en un mayor consumo energético del que realmente sería necesario para la operación del laboratorio.

Por otro lado, se tiene que:

$$Potencia\ bombas\ (HP) = 9\ HP * 2 = 18\ HP$$

Sabiendo que 1HP = 0.7457kW.

$$Potencia\ bombas\ (kW) = 13.42kW$$

Adicionalmente se conoce que estas se operan dos veces en la semana (en periodos de 2 horas) para llenar el tanque elevado y durante las prácticas (en periodos de 1 hora y media por práctica, las cuales generalmente son dos por semana). Esto se traduce en 7 horas a la semana en las que las bombas están funcionando.

$$Consumo\ semanal = 13.4226kW * 7\ hr = 93.96\ kWh$$

$$Consumo\ mensual = 93.9582\ kWhr * 4 = 375.83\ kWh$$

La sede de Zúñiga de la Universidad EIA se toma como residencia comercial. El valor del consumo para residencias comerciales en el 2017 varía para cada mes, por tanto, se realiza un promedio de tales valores y el resultante será el utilizado en los cálculos (ver Tabla 2).

Tabla 2 Costo en 2017 del consumo de energía por EPM en \$/kWh.

Mes	\$/kWh
Enero	\$ 536.59
Febrero	\$ 547.05
Marzo	\$ 573.02
Abril	\$ 556.06
Mayo	\$ 544.50
Junio	\$ 536.44
Julio	\$ 562.58
Agosto	\$ 567.70
Promedio	\$ 552.99

$$\text{Valor mensual} = 552.99 \$/_{kWh} * 375.8328 KWh = \$ 207,833$$

- **Evaluación ambiental:**

En cuanto al ámbito ambiental se están presentando las siguientes situaciones:

- El consumo de agua en el laboratorio es significativo (ver valores de consumo en numeral anterior).
- A pesar de que el agua es reutilizada, cada cierto tiempo tiene que ser cambiada por agua fresca, además de presentarse pérdidas en la realización de las prácticas.
- El consumo de energía por las bombas es alto (ver valores de consumo en numeral anterior).
- Al tener el agua acumulada en los tanques por cierto tiempo, además del estado húmedo en el que permanecen la mayoría de los equipos, se propicia un ambiente apto para que habiten microorganismos como hongos, algas, bacterias y se genere un criadero ideal para los zancudos.

- **Evaluación de seguridad:**

- ✓ **Riesgos físicos:**

Desplazarse dentro del laboratorio puede resultar peligroso, ya que hay obstáculos por varias zonas, elementos mal ubicados, piezas de los equipos que sobresalen, huecos o desniveles en el piso, entre otros. A continuación, se presentan algunas imágenes que evidencian lo descrito anteriormente:



Ilustración 38 Riesgos físicos del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga (1/4).

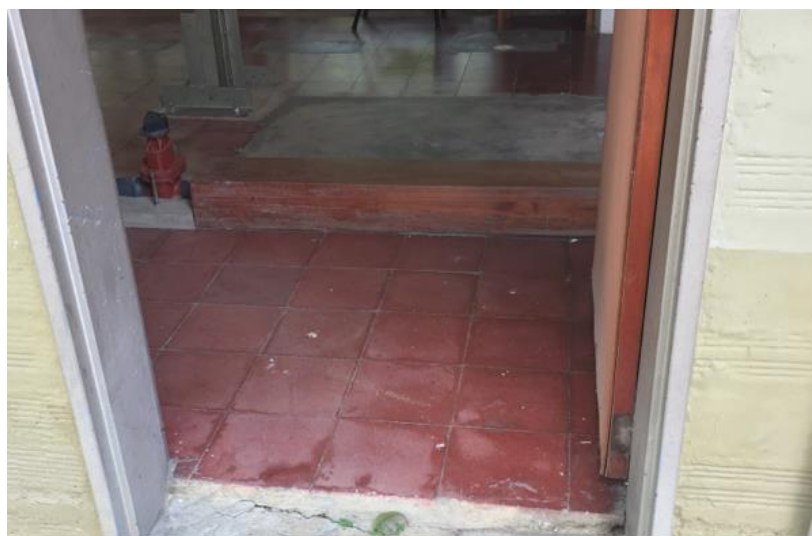


Ilustración 39 Riesgos físicos del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga (2/4).



Ilustración 40 Riesgos físicos del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga (3/4).



Ilustración 41: Riesgos físicos del laboratorio de hidráulica de la Universidad EIA, sede Zúñiga (4/4).

Si bien en el laboratorio no se han presentado accidentes graves, si es muy común que se generen lesiones leves, tales como: caídas, golpes y pequeñas cortadas, lo cual debería minimizarse en lo posible en un espacio de docencia

Por otro lado, el estado de los equipos no es el mejor, y varios de ellos necesitan de mantenimiento, esto con el fin de evitar inundaciones producidas por algunos componentes como en el caso del tanque de la almenara. Además el piso del

laboratorio no es antideslizante y una salpicadura de agua pudiese ocasionar la caída de una persona.

Finalmente debe tenerse en cuenta la seguridad en caso de emergencia, la cual es casi nula, ya que en el laboratorio el acceso a extintores y a vías de evacuación es demasiado complicado, lo cual podría traer graves consecuencias en medio de una emergencia.

✓ **Riesgos mecánicos:**

En algunos accesorios del canal se presentan riesgos de atrapamiento, aplastamiento y seccionamiento (corte), como en el gato y en el mecanismo de avance de la compuerta de descarga inferior, que en un momento dado en el que alguno de los mecanismos falle, o alguien accidentalmente se acerque, podría generar graves lesiones a estudiantes o docentes.

✓ **Riesgos eléctricos:**

No hay presencia de riesgos eléctricos evidentes en el laboratorio.

✓ **Riesgo químico:**

Se presenta específicamente en los manómetros en U que contienen mercurio, el cual es nocivo para la salud por el sólo hecho de estar presente, dado que este está expuesto a la atmósfera y además, en algún momento, un derrame podría representar un mayor peligro al entrar en contacto con él.

✓ **Riesgos biológicos:**

Como ya se mencionó en la evaluación ambiental, la humedad presente en los equipos del laboratorio se convierte en el espacio ideal para que se desarrollen y reproduzcan microorganismos y zancudos que pueden ser nocivos y perjudiciales para salud de las personas que usan las instalaciones, en caso de no realizarse el mantenimiento preventivo con la frecuencia adecuada.

3.1.2 Determinación de las necesidades de la Universidad EIA

Para identificar las necesidades de la Universidad EIA, se realizó en primer lugar una revisión de los microcurrículos de las tres ingenierías (ambiental, geológica y civil), a las cuales se les dio prioridad debido a que incorporan una mayor cantidad de materias relacionadas con el recurso hídrico, consideración que llevó a delimitar el alcance del trabajo. De dicha revisión se extrajeron los temas que se dictan en cada una de las asignaturas y estos se presentan en la Tabla 3.

Posteriormente se genera una nueva lista correspondiente a los equipos de laboratorio que permiten representar tales fenómenos. Dicha lista incorpora cuáles de estos equipos se encuentran dentro de las instalaciones de la Universidad EIA en óptimas condiciones de

uso, y no requieren de un mantenimiento o revisión para su correcta operación, ya que los equipos que lo requieren, implican un costo adicional, el cual se ha visto que se vuelve reiterativo, y hasta suele afectar el correcto desarrollo de las prácticas. Véase Tabla 4.

Tabla 3 Asignaturas con contenidos hídricos.

ASIGNATURAS	MECÁNICA DE FLUIDOS	HIDRÁULICA	HIDROCLIMATOLOGÍA	HIDROGEOLOGÍA	MECÁNICA DE FLUIDOS	SUMINISTRO Y DISPOSICIÓN DE AGUAS
PROGRAMA(S) DE INGENIERÍA	Civil	Ambiental - Civil	Ambiental - Civil	Geológica	Ambiental	Civil
TEMAS						
ESTÁTICA DE FLUIDOS						
Propiedades físicas de los fluidos (densidad, densidad relativa, peso, peso específico, viscosidad, tensión superficial, capilaridad, compresibilidad, elasticidad, presión de vapor)	X	X				
Cavitación						X
Ley de Pascal	X					
Presión (variación de la presión)	X					
Hidrostática, fuerza hidrostática	X					
Barómetro, Piezómetros, manómetros	X					
Fuerza de flotación o empuje	X					
Estabilidad de cuerpos flotantes	X					
CINEMÁTICA DE FLUIDOS						
Tipos de flujo	X					
Líneas de corriente, de trazador, tubos de corriente, vena fluida	X					
Flujo unidimensional y bidimensional	X					
Ecuación de Bernoulli	X			X		
DINÁMICA DE FLUIDOS						
Cantidad de movimiento lineal	X					
Flujo potencial	X			X		
FLUJO CONFINADO						
Viscosidad		X			X	
Flujo laminar		X			X	
Flujo turbulento		X				
Número de Reynolds		X				
Disipación de energía por fricción y por turbulencia		X			X	X
Coeficiente de fricción		X				
Sistemas que ganan energía. Sistemas de bombeo		X				X

ASIGNATURAS	MECÁNICA DE FLUIDOS	HIDRÁULICA	HIDROCLIMATOLOGÍA	HIDROGEOLOGÍA	MECÁNICA DE FLUIDOS	SUMINISTRO Y DISPOSICIÓN DE AGUAS
PROGRAMA(S) DE INGENIERÍA	Civil	Ambiental - Civil	Ambiental - Civil	Geológica	Ambiental	Civil
TEMAS						
FLUJO LIBRE						
Canales		X				X
Distribución de velocidades. Medición de la velocidad		X				
Cantidad de movimiento y su determinación		X				
Distribución de presiones en la sección		X				
Efecto de la pendiente y la curvatura		X				
FLUJO LIBRE - FLUJO UNIFORME						
Expresiones para evaluar la velocidad del flujo uniforme: Chezy, Manning, Darcy-Weisbach.		X			X	
Análisis y evaluación de cada uno de los factores de rugosidad C, n, y f.		X				
FLUJO LIBRE - ENERGÍA ESPECÍFICA Y FLUJO CRÍTICO						
Energía específica y flujo crítico		X				
Estado crítico. Controles hidráulicos		X				
Flujo crítico. Controles de choque		X				
FLUJO LIBRE - PRINCIPIO DEL MOMENTUM						
Principio del momentum		X				
Cantidad de movimiento para la sección generalizada		X				
Resalto hidráulico		X				
FLUJO LIBRE - FLUJO GRADUALMENTE VARIADO						
Flujo gradualmente variado		X				
TRANSPORTE DE SEDIMENTOS Y RESTAURACIÓN DE CAUCES						
Erosión		X		X		
Geomorfología Fluvial		X				
Transporte de sedimentos		X				X
Instrumentación fluvial		X				
EL CLIMA, EL MEDIO ATMOSFÉRICO Y EL CICLO HIDROLÓGICO.						
El clima, el medio atmosférico y el ciclo hidrológico			X	X		

ASIGNATURAS	MECÁNICA DE FLUIDOS	HIDRÁULICA	HIDROCLIMATOLOGÍA	HIDROGEOLOGÍA	MECÁNICA DE FLUIDOS	SUMINISTRO Y DISPOSICIÓN DE AGUAS
PROGRAMA(S) DE INGENIERÍA	Civil	Ambiental - Civil	Ambiental - Civil	Geológica	Ambiental	Civil
TEMAS						
LA CUENCA HIDROGRÁFICA, ESCORRENTÍA Y PREDICCIÓN EN HIDROLOGÍA						
Morfometría de cuencas			X			
Precipitación			X	X		
Evaporación y transpiración			X	X		
Infiltración y agua en el suelo			X	X		
Escorrentía			X	X		
Hidrogramas de crecientes			X			
Tránsito de crecientes			X			
Hidrología avanzada			X			
HIDROGEOLOGÍA Y AGUAS SUBTERRÁNEAS						
Almacenamiento				X		
Agua subterránea				X		
Ley de Darcy. Permeabilidad. Conductividad hidráulica				X		
Acuíferos				X		
Recarga				X		
Almacenamiento				X		
Descarga				X		
Drenajes				X		
REDES DE DISTRIBUCIÓN Y BOMBAS						
Aljibes				X		
Redes ramificadas						X
Golpe de ariete						X

Tabla 4 Equipos para realización de las prácticas de las asignaturas relacionadas con el recurso hídrico.

Equipos	Temas	Lo tiene la Universidad EIA (si y sólo si está en buen estado)
Banco de pérdidas en tuberías y accesorios	Disipación de energía por fricción y por turbulencia	No
	Coeficiente de fricción	
Banco de propiedades de fluidos	Propiedades físicas de los fluidos (densidad, densidad relativa, peso, peso específico, viscosidad, tensión superficial, capilaridad, compresibilidad, elasticidad, presión de vapor)	No
Banco de redes de tuberías	Redes ramificadas	No
Banco de tanque de oscilación y golpe de ariete	Golpe de ariete	No
Canal de pendiente variable	Canales	No
	Efecto de la pendiente y la curvatura	
	Expresiones para evaluar la velocidad del flujo uniforme: Chezy, Manning, Darcy-Weisbach.	
	Energía específica y flujo crítico	
	Principio del momentum	
	Flujo gradualmente variado	
Compuertas, vertederos y demás accesorios	Cantidad de movimiento y su determinación	No
	Estado crítico. Controles hidráulicos	
	Flujo crítico. Controles de choque	
	Cantidad de movimiento para la sección generalizada	
	Resalto hidráulico	
Equipo para altura metacéntrica	Estabilidad de cuerpos flotantes	Sí
Equipo para demostración de cavitación	Cavitación	Sí
Equipo para demostración de Ley de Pascal	Ley de Pascal	Sí
Equipo para demostración de Osborne-Reynolds	Número de Reynolds	Sí
	Flujo laminar	
	Flujo turbulento	
Equipo para demostración del principio de Arquímedes	Fuerza de flotación o empuje	No
Equipo para demostración del Teorema de Bernoulli	Ecuación de Bernoulli	Sí
Equipo para descarga por orificio y chorro libre	Flujo unidimensional y bidimensional	Sí

Equipos	Temas	Lo tiene la Universidad EIA (si y sólo si está en buen estado)
Equipo para estática de fluidos	Presión (variación de la presión)	No
Equipo para impacto de un chorro	Cantidad de movimiento lineal	Sí
Equipo para manometría	Barómetro, Piezómetros, manómetros	No
Equipo para presión hidrostática	Hidrostática, fuerza hidrostática	Sí
Lecho artificial y/o rugoso	Análisis y evaluación de cada uno de los factores de rugosidad C, n, y f.	No
Manómetro multitoma	Distribución de presiones en la sección	No
Mesa de flujo laminar	Tipos de flujo	No
	Líneas de corriente, de trazador, tubos de corriente, vena fluida	
	Flujo potencial	
	Flujo unidimensional y bidimensional	
	Acuíferos	
Sistema avanzado de hidrología que permita analizar los aspectos más importantes de la hidrología en medio naturales	Acuíferos	No
	Erosión	
	Geomorfología Fluvial	
	Transporte de sedimentos	
	Instrumentación fluvial	
	El clima, el medio atmosférico y el ciclo hidrológico	
	Morfometría de cuencas	
	Precipitación	
	Evaporación y transpiración	
	Infiltración y agua en el suelo	
	Escorrentía	
	Hidrogramas de crecientes	
	Tránsito de crecientes	
	Hidrología avanzada	
	Almacenamiento	
	Agua subterránea	
	Ley de Darcy. Permeabilidad. Conductividad hidráulica	
	Recarga	
	Almacenamiento	
	Descarga	


Equipos	Temas	Lo tiene la Universidad EIA (si y sólo si está en buen estado)
	Drenajes	
Sistema de bomba, bombas serie y paralelo	Sistemas que ganan energía. Sistemas de bombeo	Sí
Tubo Pitot	Flujo laminar	No
	Flujo turbulento	
	Distribución de velocidades. Medición de la velocidad	

Al estudiar la Tabla 4 se concluye que de los 23 equipos que se requieren para la realización de las prácticas académicas de las asignaturas de interés, solo 9 se encuentran en la Universidad EIA en buen estado. Es decir, la institución sólo posee el 39% de los equipos solicitados, quedando un 61% de equipos que no están cubiertos.

3.1.3 Tendencias de laboratorios en la ciudad de Medellín

Con el fin de conocer otros laboratorios y de analizar cómo han resuelto las diferentes necesidades académicas y a qué nivel, se realizaron dos visitas, una a la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín y otra a la Universidad EAFIT. En la Tabla 5 y Tabla 6 se presentan las especificaciones y consideraciones especiales de dichos laboratorios.

Tabla 5 Especificaciones y consideraciones del laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

Ítem	Descripción
Tanque de almacenamiento de agua	Volumen: 200m ³
Tanque elevado	Volumen: 13m ³
Bombas	Cantidad: 2 - Potencia: 50HP y 90HP
	
<p><i>Ilustración 42 Bombas de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.</i></p>	
Caudal máximo pruebas interiores	150l/s
Caudal máximo pruebas exteriores	500l/s


La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Ítem	Descripción
Canal de pendiente variable	Cantidad: 1 - Dimensiones: 8m x 40cm x 50cm
 <p><i>Ilustración 43 Canal de pendiente variable de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.</i></p>	
Canal fijo	Cantidad: 1 – Dimensiones: 12m x 50cm x 80cm

Ítem	Descripción
	 <p data-bbox="456 993 1300 1020"><i>Ilustración 44 Canal fijo de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.</i></p>

Ítem	Descripción
Canal de oleaje	Cantidad: 1 – Dimensiones: 25m x 1m x 1m
 <p><i>Ilustración 45 Canal de oleaje de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.</i></p>	
Banco de caudalímetros	Tipos: Venturi, boquilla, tobera y transductor
 <p><i>Ilustración 46 Banco de caudalímetros de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.</i></p>	

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Ítem	Descripción
Canal curvo	Cantidad: 1 - Producto de una tesis de doctorado
 <p><i>Ilustración 47 Canal curvo de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.</i></p>	
Canal didáctico	Cantidad: 1 – Longitud: 1m
 <p><i>Ilustración 48 Canal didáctico de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.</i></p>	

Banco de pérdidas	Con sensores electrónicos y aforamiento volumétrico. Se puede hacer curva de la bomba
 <p data-bbox="407 1146 1349 1173"><i>Ilustración 49 Banco de pérdidas de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.</i></p>	
Banco de bombas en serie y paralelo	Cantidad: 1



Ilustración 50 Banco de bombas en serie y paralelo de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

Ítem	Descripción
Medidores doppler (ADCP)	Cantidad: 5 (de diferente tecnología)
Sondas CTD	Cantidad: 2 (de diferente tecnología)
Ecosondas	Cantidad: 3
Modelo de embalse	Cantidad: 1 (en el patio (exterior) del laboratorio)



Ilustración 51 Modelo de embalse de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

Materias atendidas	Mecánica de fluidos, hidráulica, limnología física, hidrodinámica, campo marino
Estudiantes atendidos por semestre	200 de mecánica de fluidos y 100 de hidráulica
Tesis de posgrado	8 de maestría y 6 de doctorado
Extensión	EPM, Isagen, Universidad Tecnológica del Chocó, Universidad de Antioquia, entre otros.
Mantenimiento a las bombas	Cada 6 meses
Mantenimiento a canales	Cada 2 años
Mantenimiento a los equipos de campo	Antes de salir y al regresar de campo
Consumo anual de agua	400m ³
Costo anual de energía	\$14,000,000
Proveedores nacionales	Proworks (antes Metalyca S.A.S.), Welding, Bombas y riegos.

Observaciones adicionales:

- El piso no es antideslizante.
- Al canal de oleaje le colocan materiales improvisados como costales y canastas para el montaje de un piso falso.
- El canal de oleaje presenta fugas.
- El laboratorio es autosostenible económicamente gracias a los proyectos de extensión (principalmente de investigación).

Tabla 6 Especificaciones y consideraciones del laboratorio de Hidráulica de la Universidad EAFIT.

Ítem	Descripción
Secciones del laboratorio	Espejo de agua, cuarto de bombas/tanque y anillo de equipos.
Área	300m ²
Tanque de almacenamiento de agua y espejo de agua	Volumen: 16m ³
Succión e impulsión	Cantidad: 3 tuberías (configurables en cualquier dirección para succionar e impulsar el agua al laboratorio).
Tipo de tomas de presión	Tipo anillo piezométrico en todo el circuito de tubería del laboratorio.
Bombas	Cantidad: 6 – Potencia: 4 de 9HP y 2 de 10HP
	Sistema en serie y paralelo.





Ilustración 52 Bombas de la Universidad EAFIT.

Ítem	Descripción
Canal de pendiente variable	Dimensiones: 7.92m x 30cm x 47cm
	Alimentación: 1 bomba de 9HP, a veces 2 para pruebas de grandes caudales.
	Caudalímetros tipo Vórtex y electromagnético.
	Robot de localización 3D que permite ubicar instrumentos en cualquier posición del canal.



Ilustración 53 Canal de pendiente variable de la Universidad EAFIT.

Ítem	Descripción
Red de pérdidas en accesorios y tuberías	Pérdidas por fricción y localizadas, incluye bridas que no es usual.
	Con sensores tipo Bourdon, columna, en “U” y electrónicos puntuales y diferenciales.
 <p><i>Ilustración 54 Red de pérdidas en accesorios y tuberías de la Universidad EAFIT.</i></p>	
Almenara	Para prácticas de golpe de ariete.
 <p><i>Ilustración 55 Almenara de la Universidad EAFIT.</i></p>	

Ítem	Descripción
Sistema de adquisición de datos	Nombre: NI Compaq Río
Tanque para calibración de vertederos	
Micro molinete para medición de velocidad de flujo	
Turbomáquinas	Cantidad: 3
Ecosonda	Tipo: Knudsen 320BP transducer de 12-200/28/200 KHz
GPS	Tipo: Diferencial Trimble
Tipo de medidores análogos	Bourdon 0.25 y 0.025 Clase 1
Software	Para oceanografía
Materias atendidas	Mecánica de fluidos, hidráulica

Observaciones adicionales:

- La información suministrada es limitada y no fue posible acceder a algunas áreas y equipos porque son confidenciales.
- El piso no es antideslizante.
- Hay zonas intrincadas en las que es difícil el acceso y presentan riesgo físico y mecánico.
- No considera ningún tipo de prueba referente al área de hidrología (hidroclimatología e hidrogeología).
- Teniendo en cuenta el interés por los temas marinos, no se consideran pruebas relacionadas con oceanografía o ciencias del mar a nivel de laboratorio, sólo mediante mediciones de campo.

Al analizar las especificaciones y modos de funcionamiento tanto técnico como económico, se pueden notar diferencias entre ambas universidades, pero más aún entre éstas con la Universidad EIA. Dichas diferencias se enuncian a continuación:

- Académico: las universidades dejan ver un alto interés por la investigación a niveles de maestría y doctorado, muchas de las cuales son patrocinadas o contratadas por empresas interesadas en el tema, lo anterior le permite a los laboratorios ser "autosostenibles" económicamente, sin embargo, dichas investigaciones no se llevan a cabo en pregrado, programas en los cuales, se limitan también a la hidráulica básica.
- Técnico: ambas universidades presentan una estructura de grandes dimensiones, lo cual les permite manipular altos caudales y así poder tener mejores modelos;

pero, al igual que con los temas académicos, esto sólo se justifica para los postgrados.

- Económico: Como ya se dijo, estos laboratorios llegan a sostenerse económicamente con los mismos servicios que prestan, los cuales determinan las necesidades que las universidades tienen que cubrir.

Debido a lo anterior, se puede inferir entonces que la Universidad EIA no requiere de instalaciones semejantes a las de las universidades en mención, ya que no cuenta con programas de postgrado con énfasis en las áreas de recursos hídricos. Además, en la actualidad la institución no ofrece servicios de investigación avanzada, por lo que una estructura con equipos complejos no es necesaria y los equipos de docencia pueden ser suficientes para algunas investigaciones aplicadas.

3.2 ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD

3.2.1 Identificación de opciones según la aplicación académica

ALTERNATIVA 1: Equipos para docencia.

Son equipos que permiten llevar a cabo prácticas demostrativas, hacer calibraciones, realizar mediciones con la finalidad de validar principios y leyes, caracterizar equipos y visualizar ciertos fenómenos.

Las ventajas de dichos equipos radican en su economía y su posible existencia en el mercado nacional. Lo primero se debe a que no son equipos que se diseñen con el objetivo de ser versátiles, por lo que suelen ser estructuras únicas de muy pocos y simples elementos. En el caso de la existencia en el mercado, al ser equipos simples desarrollados únicamente con fines de comprobación de fenómenos en pocas condiciones específicas, su desarrollo en el mercado nacional es más común.

Si bien las ventajas descritas anteriormente hacen de estos equipos una buena alternativa, también se deben mirar las desventajas que estos conllevan. Por un lado se tiene la poca adaptabilidad de los equipos ante nuevas necesidades, lo cual hace que sólo sean realizables un determinado número de prácticas, con unas variables fijas, limitando así las capacidades del laboratorio.

Adicionalmente, la inhibición de la realización de prácticas investigativas es también perjudicial para la institución, ya que la realización de proyectos de investigación da un mayor nivel a la institución y le da una mayor competitividad en el mercado.

ALTERNATIVA 2: Equipos para investigación.

Son equipos que además de ofrecer muchas de las prestaciones de los equipos para docencia, cuentan con especificaciones superiores que permiten llevar a cabo estudios que van más allá de la confirmación o aplicabilidad de principios o leyes. Con estos equipos se pueden llevar a cabo investigaciones preliminares, comprobación de hipótesis de comportamientos físicos, validación de modelos fenomenológicos o el desarrollo de modelos empíricos, aproximación y caracterización de sistemas naturales y artificiales, entre otros.

Si bien dichos equipos brindan una gran cantidad de beneficios y prestaciones al laboratorio, vale la pena resaltar que son equipos que suelen ser mucho más costosos, que requerirán importación, además de la necesidad de un curso del funcionamiento para las diferentes personas encargadas del laboratorio.

3.2.2 Identificación de opciones según el origen de los equipos

Con el fin de realizar una mejor exposición de los beneficios y desventajas de cada una de las diferentes alternativas metodológicas que se propondrán, éstas se dividirán de acuerdo con el origen que tendrían los equipos a instalar y al alcance académico que se podría obtener con la implementación de éstas.

ALTERNATIVA 1

Esta alternativa requiere el desmonte, traslado e instalación de equipos, maquinaria y herramientas del laboratorio de hidráulica de la sede de Zúñiga de la Universidad EIA al nuevo laboratorio de recursos hídricos que será dispuesto en la sede de Las Palmas de dicha institución.

Para llevar a cabo esta alternativa se requiere de un estudio del estado actual de los equipos, con ello se conocerá cuáles de ellos están en condiciones óptimas y cuáles requieren de mantenimiento o cambio, de esa manera funcionarán debidamente en el laboratorio de Las Palmas. Adicionalmente debe de analizarse el costo, tiempo y facilidad de desmonte y traslado de los equipos entre ambas sedes.

Finalmente se debe generar un plan de instalación y montaje de tales equipos en el lugar de operación, el cual probablemente estará terminado para esta fecha.

ALTERNATIVA 2

Plantea la compra de equipos nuevos con mayor tecnología producidos por empresas internacionales de alta experiencia, para conformar el laboratorio de recursos hídricos en la sede Las Palmas. Esto requerirá de un estudio de las empresas que ofrecen los equipos solicitados por la institución.

Para realizar dicho análisis y escoger la mejor firma para adquirir los equipos, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Amplio mercado a nivel mundial.
- Gran trayectoria en el estudio y diseño de equipos de laboratorio, que garantice amplio conocimiento en los temas de estudio.
- Equipos estandarizados que puedan brindar mayor exactitud en los datos arrojados y capacidad de medición.
- Garantía de mantenimiento para las revisiones y posibles reparaciones que deba hacerse a los equipos.
- Equipos estudiados a detalle para conocer las especificaciones detalladas de su funcionamiento en cuanto a gasto, eficiencia y precisión.
- Estudio de una mayor variedad de contenidos.

Se consideran 2 empresas líderes y especialistas en la producción de equipos para laboratorio: Armfield y G.U.N.T.

A continuación, se hace una breve presentación de los equipos ofrecidos por cada una de dichas empresas, los cuales permitirían realizar las prácticas de laboratorio requeridas por la universidad:

Armfield

Nombre del equipo: Banco Hidráulico

Modelo: F1-10-B

Imagen del equipo:



Ilustración 56 Banco Hidráulico (Armfield, 2017).

Nombre del equipo: Estática de Fluidos y Manometría

Modelo: F1-29

Imagen del equipo:



Ilustración 57 Estática de Fluidos y Manometría (Armfield, 2017).

No requiere la unidad de servicio del Banco Hidráulico F1-10.

Nombre del equipo: Aparato para Propiedades de Fluidos

Modelo: F1-30

Imagen del equipo:



Ilustración 58 Aparato para Propiedades de Fluidos (Armfield, 2017).

No requiere la unidad de servicio del Banco Hidráulico F1-10.

Nombre del equipo: Tubo Pitot de Demostración

Modelo: F1-33

Imagen del equipo:

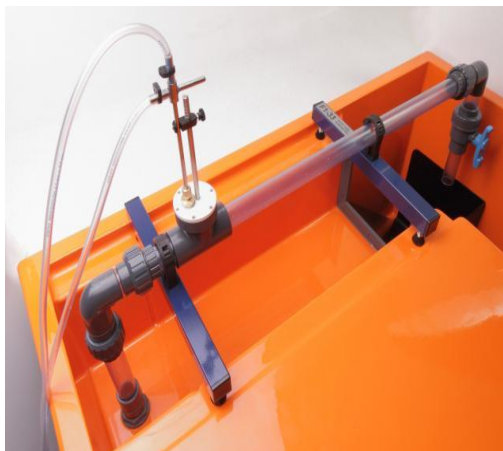


Ilustración 59 Tubo Pitot de Demostración (Armfield, 2017).

Requiere la unidad de servicio del Banco Hidráulico F1-10.

Nombre del equipo: Canal Hidráulico Multipropósito de 5.0 m.

Modelo: C4-MKII-5.0M-11

Imagen del equipo:



Ilustración 60 Canal Hidráulico Multipropósito de 5.0 m (Armfield, 2017).

Requiere la unidad de servicio del Banco Hidráulico F1-10.

Nombre del equipo: Tubo Pitot y Manómetro

Modelo: C4-61

Imagen del equipo:



Ilustración 61 Tubo Pitot y Manómetro (TecnoEdu, 2017).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Nombre del equipo: Lecho Artificialmente Rugoso con sección de 2.5 metros de largo (para el canal de 5m se necesitan 2 unidades).

Modelo: C4-69

Imagen del equipo:



Ilustración 62 Lecho endurecido artificialmente (TecnoEdu, 2017).

Nombre del equipo: Mediciones de Fricción en Fluidos

Modelo: C6-MKII-10

Imagen del equipo:



Ilustración 63 Mediciones de Fricción en Fluidos (Armfield, 2017).

Requiere la unidad de servicio del Banco Hidráulico F1-10.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Nombre del equipo: Aparato de Oscilación de Presión y Golpe de Ariete

Modelo: C7-MKII-10

Imagen del equipo:



Ilustración 64 Aparato de Oscilación de Presión y Golpe de Ariete (Armfield, 2017).

Requiere la unidad de servicio del Banco Hidráulico F1-10.

Nombre del equipo: Mesa de Flujo Laminar

Modelo: C10

Imagen del equipo:



Ilustración 65 Mesa de Flujo Laminar (Armfield, 2017).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Nombre del equipo: Redes de Tuberías

Modelo: C11-MKII-10

Imagen del equipo:



Ilustración 66 Redes de Tuberías (Armfield, 2017).

Requiere la unidad de servicio del Banco Hidráulico F1-10.

Nombre del equipo: Sistema Avanzado de Estudio Hidrológico

Modelo: S12-MKII-50-B

Imagen del equipo:



Ilustración 67 Sistema Avanzado de Estudio Hidrológico (Armfield, 2017).

Requiere la unidad de servicio del Banco Hidráulico F1-10.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

G.U.N.T.

Nombre del equipo: Redes de Tuberías

Modelo: HM 111

Imagen del equipo:



Ilustración 68 Redes de Tuberías (G.U.N.T., 2017).

Nombre del equipo: Determinación de la Velocidad de Sedimentación

Modelo: HM 135

Imagen del equipo:



Ilustración 69 Determinación de la Velocidad de Sedimentación (G.U.N.T.).

Nombre del equipo: Estudios Hidrológicos Ampliados

Modelo: HM 145

Imagen del equipo:



Ilustración 70 Estudios Hidrológicos Ampliados (G.U.N.T., 2017).

Nombre del equipo: Módulo Básico para Ensayos de Mecánica de Fluidos

Modelo: HM 150

Imagen del equipo:



Ilustración 71 Módulo Básico para Ensayos de Mecánica de Fluidos (G.U.N.T., 2017).

Nombre del equipo: Pérdidas en un Sistema de Tuberías

Modelo: HM 150.11

Imagen del equipo:



Ilustración 72 Pérdidas en un Sistema de Tuberías (G.U.N.T., 2017).

Nombre del equipo: Flujo Potencial

Modelo: HM 152

Imagen del equipo:

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Ilustración 73 Flujo Potencial (G.U.N.T., 2017).

Nombre del equipo: Golpe de Ariete y Chimenea de Equilibrio

Modelo: HM 156

Imagen del equipo:



Ilustración 74 Equipo de Golpe de Ariete (G.U.N.T., 2017).

Nombre del equipo: Canal de Ensayos 86*300 mm

Modelo: HM 160

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Imagen del equipo:



*Ilustración 75 Canal de Ensayos 86*300 mm (G.U.N.T., 2017).*

Nombre del equipo: Elemento de Prolongación del Canal de Ensayo

Modelo: HM 160.10

Imagen del equipo:



Ilustración 76 Elemento de Prolongación del Canal de Ensayo (G.U.N.T., 2017).

Nombre del equipo: Compuerta Plana Deslizante

Modelo: HM 160.29

Imagen del equipo:



Ilustración 77 Compuerta Plana Deslizante (G.U.N.T., 2017).

Nombre del equipo: Juego de Vertederos de Cresta Delgada

Modelo: HM 160.30

Imagen del equipo:

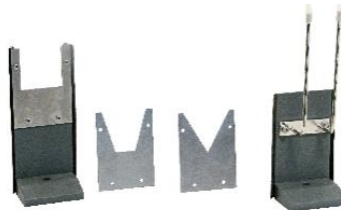


Ilustración 78 Juego de Vertederos de Cresta Delgada (G.U.N.T., 2017).

Nombre del equipo: Vertedero de Cresta Ancha

Modelo: HM 160.31

Imagen del equipo:



Ilustración 79 Vertedero de Cresta Ancha (G.U.N.T., 2017).

Nombre del equipo: Vertedero Crump

Modelo: HM 160.33

Imagen del equipo:



Ilustración 80 Vertedero Crump (G.U.N.T., 2017).

Nombre del equipo: Tubo de Pitot Estático

Modelo: HM 160.50

Imagen del equipo:



Ilustración 81 Tubo de Pitot Estático (G.U.N.T., 2017).

Nombre del equipo: Canal de Venturi

Modelo: HM 160.51

Imagen del equipo:



Ilustración 82 Canal de Venturi (G.U.N.T., 2017).

Nombre del equipo: Indicador del Nivel de Agua

Modelo: HM 160.52

Imagen del equipo:



Ilustración 83 Indicador del Nivel de Agua (G.U.N.T., 2017).

Nombre del equipo: Base del Canal con Grava

Modelo: HM 160.77

Imagen del equipo:



Ilustración 84 Base del Canal con Grava (G.U.N.T., 2017).

Nombre del equipo: Fundamentos de la Medición de la Presión

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Modelo: WL 203

Imagen del equipo:



Ilustración 85 Fundamentos de la Medición de la Presión (G.U.N.T., 2017).

ALTERNATIVA 3

Como tercera alternativa se tiene la adquisición de equipos, materiales y herramientas producidos a nivel nacional para conformar el nuevo laboratorio de recursos hídricos de la Universidad EIA, sede Las Palmas.

Las empresas locales que ofrecen estos bienes no conocen bien los procesos académicos y no tienen una oferta de equipos definida, por el contrario los hacen como proyectos a medida y sin contar con una etapa de desarrollo que garantice el alcance y la pertinencia en esferas académicas. Adicionalmente tales equipos no cuentan con pruebas previas de desempeño, calidad y usabilidad por parte de estudiantes en etapa de formación.

El desarrollo de esta alternativa requerirá de un estudio de las organizaciones que ofrecen los equipos solicitados por las áreas académicas de interés. Adicionalmente se deberá realizar un análisis particular de: costos, eficiencia, precisión, consumo de energía y de agua, facilidad de traslado, tiempo de entrega en la sede de Las Palmas de la Universidad EIA, garantía de mantenimiento para revisiones y reparaciones, entre otros.

3.2.3 Evaluación y calificación de alternativas

Cada una de las opciones de diseño serán evaluadas y calificadas en cinco aspectos (académico, ambiental, económico, técnico y de seguridad), tal y como se ha venido mencionando a lo largo del trabajo. Estos aspectos serán evaluados por ítems, a los cuales se les asignará una nota. Posteriormente se hace el promedio de dichas notas y se establece una calificación total por aspecto.

A continuación se presentan los ítems a evaluar por aspecto y las consideraciones específicas de evaluación y calificación:

- Académico:

El ítem de este aspecto será el cubrimiento de los temas (52 en total) que requieren ser abordados en el nuevo laboratorio de recursos hídricos. Dicho ítem será calificado en porcentaje de cubrimiento, considerando la nota 5 como 100% de cobertura, esto llevará a que la calificación más alta la tendrá la opción que satisfaga el mayor porcentaje de temáticas.

- Económico:

El ítem del aspecto económico corresponderá al valor en pesos colombianos que tendría que ser invertido en la respectiva alternativa. Para esto, se supondrá una relación lineal entre el costo y la nota, por lo que la opción más económica tendrá una calificación de 5 y la más costosa de 0 (ver *Ecuación 1*).

Ecuación 1 Fórmula para calificación económica de alternativas.

$$Nota = \left(\frac{5}{valor\ máx - valor\ mín} \right) * (valor\ máx - valor)$$

Por otro lado, para hacer una comparación equivalente, se comparan únicamente los valores de los equipos que tiene actualmente el laboratorio de Zúñiga con los equipos equivalentes de las empresas Armfield y G.U.N.T.

- Técnico:

En este aspecto se consideraron los siguientes ítems: el número de accesorios, la modularidad, el desempeño, la tecnología, las dimensiones y el peso. El mayor puntaje será de la opción cuyos equipos sean más versátiles, manejables, avanzados y que respondan eficientemente a las necesidades de las diversas prácticas.

Consideraciones de la calificación:

- ✓ Los puntajes individuales son 0 o 1. Se asigna 1 a la mejor opción o a las mejores opciones (igual de buenas), de lo contrario se asigna 0.
- ✓ Si no se encuentra información de un aspecto para uno de los equipos se asigna 0.

- ✓ Se promedian los puntajes de cada uno de los aspectos anteriores (accesorios, modularidad, desempeño, tecnología, dimensiones y peso) esto da el puntaje parcial de la opción, es decir, para cada equipo.
- ✓ Se suman los puntajes parciales (por equipo) y se obtiene el puntaje total.
- ✓ Se asigna una nota a partir del cambio de escala del puntaje total en un rango de calificación de 0 a 5.

- Ambiental:

Los ítems evaluados en el aspecto ambiental son: deterioro de la calidad del aire, aumento en decibeles de ruido, alteración de la calidad del agua y disminución del recurso hídrico (por gasto). Estos se evalúan en etapas temporales en las que se generan diferentes impactos ambientales en cada una de las alternativas. La calificación más alta la obtendrá la alternativa más “verde” o que genere un impacto menos negativo al medio ambiente.

Consideraciones de la calificación:

- ✓ Los puntajes son -1, 0 o 1. Se asigna -1 cuando hay un impacto ambiental negativo apreciable, 0 cuando hay un leve impacto ambiental negativo y 1 cuando no hay un impacto ambiental apreciable.
- ✓ No se consideran impactos ambientales positivos, dado que la naturaleza del proyecto no lo contempla.
- ✓ Se promedian los puntajes de cada uno de los aspectos anteriores (deterioro de la calidad del aire, aumento en decibeles de ruido, alteración de la calidad del agua y disminución del recurso hídrico (por gasto)) a lo largo de las etapas temporales, esto da el puntaje parcial de la opción, es decir, para cada aspecto.
- ✓ Se suman los puntajes parciales (por aspecto) y se obtiene el puntaje total.
- ✓ Se asigna una nota a partir del cambio de escala del puntaje total en un rango de calificación de 0 a 5.

- Seguridad:

En el aspecto de seguridad se evaluarán ítems de riesgo: físico, mecánico, eléctrico, químico y biológico.

Consideraciones de la calificación:

- ✓ Los puntajes son -1, 0 o 1. Se asigna -1 cuando hay un riesgo apreciable, 0 cuando hay un leve riesgo y 1 cuando no hay un riesgo significativo.
- ✓ Se suman los puntajes parciales (por riesgo) y se obtiene el puntaje total.
- ✓ Se asigna una nota a partir del cambio de escala del puntaje total en un rango de calificación de 0 a 5.

✓

○ **Evaluación y calificación académica de alternativas:**

En la Tabla 7 y Tabla 8 se presentan los análisis de cobertura para las alternativas internacionales.

Nota: La evaluación académica de la alternativa de traslado se realizó en numerales anteriores y la calificación académica se presenta en la [Tabla 9](#).

Tabla 7 Evaluación académica de equipos de Armfield.

Armfield			
Modelos	Nombres de equipos y accesorios	Cobertura	
		Número de temas	Porcentaje de temas
F1-29	Estática de fluidos y manometría	2	4%
F1-30	Aparato para propiedades de fluidos	2,5	5%
F1-33	Tubo Pitot de Demostración	2	4%
C4-MKII-5.0M-11	Canal Hidráulico Multipropósito de 5.0 m.	11	21%
C4-61	Tubo Pitot y Manómetro	1	2%
C4-69	Lecho Artificialmente Rugoso	1	2%
C6-MKII-10	Mediciones de Fricción en Fluidos	2	4%
C7-MKII-10	Aparato de Oscilación de Presión y Golpe de Ariete	1	2%
C10	Mesa de Flujo Laminar	5	10%
C11-MKII-10	Redes de Tuberías	1	2%
S12-MKII-50-B - S12 MODELS	Sistema Avanzado de Estudio Hidrológico	21	40%
Temas no cubiertos: Propiedades de fluidos: tensión superficial, compresibilidad, elasticidad, presión de vapor Flujo libre: distribución de presiones en la sección Redes de distribución y bombas: aljibes		2,5	5%
TOTAL		52	100%

Hay equipos que no abordan todos los ítems de un tema y para establecer su cobertura se considera lo siguiente:

- ✓ Valor del tema en su totalidad: 1.
- ✓ Valor de cada ítem contenido en el tema: 1/número de ítems.

Tabla 8 Evaluación académica de equipos de G.U.N.T.

G.U.N.T.			
Modelos	Nombres de equipos y accesorios	Cobertura	
		Número de temas	Porcentaje de temas
HM 111	Redes de Tuberías	1	2%
HM 135	Determinación de la Velocidad de descenso	1,1	2%
HM 145	Estudios Hidrológicos Ampliados	21	40%
HM 150.11	Pérdidas en un Sistema de Tuberías	2	4%
HM 152	Flujo Potencial	5	10%
HM 156	Golpe de Ariete y Chimenea de Equilibrio	1	2%
HM 160	Canal de Ensayos 86*300 mm	11	21%
HM 160.50	Tubo de Pitot Estático	1	2%
HM 160.77	Base del Canal con Grava	1	2%
WL 203	Fundamentos de la Medición de la Presión	2	4%
Temas no cubiertos: Propiedades de fluidos: densidad, densidad relativa, peso, peso específico, tensión superficial, capilaridad, compresibilidad, elasticidad, presión de vapor Fuerza de flotación o empuje Flujo laminar / Flujo turbulento Redes de distribución y bombas: aljibes		5,9	11%
TOTAL		52	100%

- El modelo HM 135 sólo permite evaluar la viscosidad del fluido, dejando a un lado las otras propiedades físicas.
- Accesorios básicos: HM 160.29, HM 160.30, HM 160.31, HM 160.33, HM 160.51 y HM 160.52
- Hay equipos que no abordan todos los ítems de un tema y para establecer su cobertura se sigue el mismo método utilizado para los equipos Armfield.

Tabla 9 Calificación académica de alternativas

Alternativa	Nota
Armfield	4.76
GUNT	4.43
Traslado equipos de Zúñiga	1.35

○ **Evaluación y calificación económica de alternativas:**

Para la cotización de la alternativa de traslado, se recurrió a la empresa Heuresis, dedicada al desmonte, traslado e instalación de equipos de laboratorio. Dicha cotización necesitó de la visita de un empleado de la empresa (Silvio Andrés Salazar Martínez) para que realizara diversas medidas y visualizara el estado, composición, funcionamiento y distribución del laboratorio.

En la Tabla 10 se puede visualizar el valor por ítem de los trabajos a realizar por la empresa.

Tabla 10 Evaluación económica traslado de equipos por Heuresis.

Heuresis		
Ítem	Descripción	Valor
1	Desarme	\$ 20,000,000.00
2	Diseño de detalle para albergar los equipos existentes	\$ 20,000,000.00
3	Presupuesto para mantenimiento de equipos	\$ 35,000,000.00
4	Montaje (Costo estimado, se requiere diseño detallado para evaluarlo)	\$ 60,000,000.00
Subtotal		\$ 135,000,000.00
IVA (19%)		\$ 25,650,000.00
Total		\$ 160,650,000.00

Se hace importante aclarar que según Silvio Andrés Salazar Martínez este valor puede ser mayor y alcanzar los doscientos cincuenta millones de pesos (\$250,000,000), debido a que aún falta estimar el costo de diseñar el montaje del laboratorio en Las Palmas.

Nota: La empresa Heuresis menciona en la cotización que en caso de contratar con ellos el pago debe realizarse: 25% al iniciar y 3 pagos mes vencido del 25%. La cotización detallada se encuentra anexa al informe.

La alternativa de compra de equipos nuevos a empresas internacionales, precisó pedir la cotización de los diferentes equipos con sus respectivos accesorios a Armfield y G.U.N.T. Ambas empresas incluyeron en el valor total: el IVA, el traslado, la instalación y la debida capacitación.

Nota: Estas organizaciones exigen que se les cancele un 50% del valor del pedido en anticipo y el otro 50% contra-entrega. Las cotizaciones detalladas se encuentran anexas al informe.

En la Tabla 11 y Tabla 12 se presentan los valores por equipo propuestos por cada una de las organizaciones. Adicionalmente la calificación económica se presenta en la Tabla 13, Tabla 14 y Tabla 15.

Tabla 11 Evaluación económica equipos de Armfield.

Armfield				
Modelos	Nombres equipos y accesorios	Cantidad	Valor	
			Unitario	Total con IVA
F1-10-B	Banco hidráulico	2	\$ 18,150,600.00	\$ 43,198,428.00
F1-29	Estática de fluidos y manometría	1	\$ 38,524,200.00	\$ 45,843,798.00
F1-30	Aparato para propiedades de fluidos	1	\$ 26,590,200.00	\$ 31,642,338.00
F1-33	Tubo Pitot de Demostración	1	\$ 16,317,600.00	\$ 19,417,944.00
C4-MKII-5.0M-11	Canal Hidráulico Multipropósito de 5.0 m.	1	\$ 83,857,800.00	\$ 99,790,782.00
C4-61	Tubo Pitot y Manómetro	1	\$ 24,921,000.00	\$ 29,655,990.00
C4-69	Lecho Endurecido Artificialmente	1	\$ 14,695,200.00	\$ 34,974,576.00
C6-MKII-10	Mediciones de Fricción en Fluidos	1	\$ 59,420,400.00	\$ 70,710,276.00
C6-MKII-DTA-ALITE	Accesorio de Registro de Datos con Software	1	\$ 19,601,400.00	\$ 23,325,666.00
C7-MKII-10	Aparato de Oscilación de Presión y Golpe de Ariete	1	\$ 57,181,800.00	\$ 68,046,342.00
C10	Mesa de Flujo Laminar	1	\$ 66,557,400.00	\$ 79,203,306.00
C11-MKII-10	Redes de Tuberías	1	\$ 57,634,200.00	\$ 68,584,698.00
S12-MKII-50-B	Sistema Avanzado de Estudio Hidrológico	1	\$ 163,238,400.00	\$ 194,253,696.00
S12-MODELS	Modelos - Sistema Avanzado de Estudio Hidrológico	1	\$ 5,974,800.00	\$ 7,110,012.00
TOTAL			\$ 634,514,400.00	\$ 772,559,424.00

Tabla 12 Evaluación económica equipos de G.U.N.T.

G.U.N.T.				
Modelos	Nombres equipos y accesorios	Cantidad	Valor	
			Unitario	Total con IVA
HM 111	Redes de Tuberías	1	\$ 109,993,500.00	\$ 130,892,265.00
HM 135	Determinación de la Velocidad de Sedimentación	1	\$ 18,806,200.00	\$ 22,379,378.00
HM 145	Estudios Hidrológicos Ampliados	1	\$ 132,734,700.00	\$ 157,954,293.00
HM 150	Módulo Básico para Ensayos de Mecánica de Fluidos	2	\$ 26,184,400.00	\$ 62,318,872.00
HM 150.11	Pérdidas en un Sistema de Tuberías	1	\$ 56,795,800.00	\$ 67,587,002.00
HM 152	Flujo Potencial	1	\$ 43,461,000.00	\$ 51,718,590.00
HM 156	Golpe de Ariete y Chimenea de Equilibrio	1	\$ 100,735,300.00	\$ 119,875,007.00
HM 160	Canal de Ensayos 86*300 mm	1	\$ 135,355,900.00	\$ 161,073,521.00
HM 160.10	Elemento de Prolongación del Canal de Ensayo	1	\$ 33,724,400.00	\$ 40,132,036.00
HM 160.29	Compuerta Plana Deslizante	1	\$ 5,404,000.00	\$ 6,430,760.00
HM 160.30	Juego de Vertederos de Cresta Delgada	1	\$ 4,352,900.00	\$ 5,179,951.00
HM 160.31	Vertedero de Cresta Ancha	1	\$ 3,982,300.00	\$ 4,738,937.00
HM 160.33	Vertedero Crump	1	\$ 1,320,700.00	\$ 1,571,633.00
HM 160.50	Tubo de Pitot Estático	1	\$ 4,642,600.00	\$ 5,524,694.00
HM 160.51	Canal de Venturi	1	\$ 6,542,800.00	\$ 7,785,932.00
HM 160.52	Indicador del Nivel de Agua	2	\$ 3,726,200.00	\$ 8,868,356.00
HM 160.77	Base del Canal con Grava	1	\$ 4,447,200.00	\$ 5,292,168.00
WL 203	Fundamentos de la Medición de la Presión	1	\$ 29,425,500.00	\$ 35,016,345.00
TOTAL			\$ 721,635,400.00	\$ 894,339,740.00

Tabla 13 Calificación económica de la alternativa de traslado.

Zúñiga-Palmas				
Modelos	Nombres de equipos y accesorios	Cantidad	Valor	
			Unitario	Total con IVA
	Canal de pendiente ajustable	1	\$ 135,000,000.00	\$ 160,650,000.00
	Red de tuberías para evaluación de pérdida de carga			
	Sistema para estudio de chimeneas de equilibrio			
TOTAL			\$ 135,000,000.00	\$ 160,650,000.00
NOTA				5.0

Tabla 14 Calificación económica de Armfield.

Armfield				
Modelos	Nombres de equipos y accesorios	Cantidad	Valor	
			Unitario	Total con IVA
C4-MKII-5.0M-11	Canal Hidráulico Multipropósito de 5.0 m.	1	\$ 83,857,800.00	\$ 99,790,782.00
C6-MKII-10	Mediciones de Fricción en Fluidos	1	\$ 59,420,400.00	\$ 70,710,276.00
C6-MKII-DTA-ALITE	Accesorio de Registro de Datos con Software	1	\$ 19,601,400.00	\$ 23,325,666.00
C7-MKII-10	Aparato de Oscilación de Presión y Golpe de Ariete	1	\$ 57,181,800.00	\$ 68,046,342.00
F1-10	Banco Hidráulico	1	\$ 18,150,600.00	\$ 21,599,214.00
TOTAL			\$ 238,212,000.00	\$ 283,472,280.00
NOTA				2.91

Tabla 15 Calificación económica de G.U.N.T.

G.U.N.T.				
Modelos	Nombres de equipos y accesorios	Cantidad	Valor	
			Unitario	Total con IVA
HM 160	Canal de ensayo 86x300mm	1	\$ 135,355,900.00	\$ 161,073,521.00
HM 160.10	Elemento de prolongación del canal de ensayo	1	\$ 33,724,400.00	\$ 40,132,036.00
HM 160.29	Compuerta Plana Deslizante	1	\$ 5,404,000.00	\$ 6,430,760.00
HM 160.30	Juego de Vertederos de Cresta Delgada	1	\$ 4,352,900.00	\$ 5,179,951.00
HM 160.31	Vertedero de Cresta Ancha	1	\$ 3,982,300.00	\$ 4,738,937.00
HM 160.33	Vertedero Crump	1	\$ 1,320,700.00	\$ 1,571,633.00
HM 160.51	Canal de Venturi	1	\$ 6,542,800.00	\$ 7,785,932.00
HM 160.52	Indicador del Nivel de Agua	2	\$ 3,726,200.00	\$ 8,868,356.00
HM 150.11	Pérdidas en un Sistema de Tuberías	1	\$ 56,795,800.00	\$ 67,587,002.00
HM 156	Golpe de Ariete y Chimenea de Equilibrio	1	\$ 100,735,300.00	\$ 119,875,007.00
HM 150	Módulo Básico para Ensayos de Mecánica de Fluidos	1	\$ 26,184,400.00	\$ 31,159,436.00
TOTAL			\$ 378,124,700.00	\$ 454,402,571.00
NOTA				0

○ **Evaluación y calificación técnica de alternativas:**

Para este ítem se analizan las especificaciones y requerimientos de funcionamiento de cada uno de los equipos ofrecidos por las empresas Armfield y G.U.N.T. La evaluación del laboratorio de Zúñiga para la propuesta de traslado ya fue analizada en numerales anteriores. A continuación (ver Tabla 16) se presentan las observaciones fruto de la evaluación técnica de Armfield y G.U.N.T.:

Tabla 16 Evaluación técnica de Armfield y G.U.N.T.

Armfield	G.U.N.T.
Modelo: F1-29 Nombre: Estática de Fluidos y Manometría Observaciones: · En general, el equipo de Armfield tiene más tubos manométricos que el de G.U.N.T. · El manómetro inclinable de Armfield permite 3 inclinaciones diferentes, mientras el de G.U.N.T. sólo permite una inclinación. · El equipo F1-29 no requiere el banco hidráulico F1-20, sin embargo se puede facilitar su uso con el mismo de manera modular. · El manómetro tipo Bourdon de Armfield hace parte del módulo F1-11, con el cual ya cuenta la Universidad EIA.	Modelo: WL 203 Nombre: Fundamentos de la Medición de Presión
Modelo: F1-30 Nombre: Aparato para Propiedades de Fluidos Observaciones: · El equipo de Armfield cuenta con más accesorios que el de G.U.N.T., sin embargo las especificaciones de G.U.N.T. son más detalladas.	Modelo: HM 135 Nombre: Determinación de la Velocidad de Descenso
Modelo: F1-33 Nombre: Tubo Pitot de Demostración	Modelo: NO TIENE
Modelo: C4-MKII-5.0M-11 Nombre: Canal Hidráulico Multipropósito Observaciones: · El canal de Armfield viene con accesorios básicos por defecto, así como los limnímetros, mientras que el de G.U.N.T. no trae ningún accesorio o instrumento por defecto. · El canal de G.U.N.T. trae un depósito y bomba fijos, lo cual no es modular, a diferencia de Armfield que funciona con el banco hidráulico F1-10. · El caudalímetro de Armfield es digital de lectura directa, mientras el de G.U.N.T. es un rotámetro (medidor de área variable).	Modelo: HM 160 + HM 160.10 Nombre: Canal de Ensayo 86x300mm + Elemento de Prolongación del Canal de Ensayo
Modelo: C4-61 Nombre: Tubo Pitot y Manómetro Observaciones: · Se cuentan con mayores especificaciones para el tubo Pitot de G.U.N.T.	Modelo: HM 160.50 Nombre: Tubo de Pitot Estático

Armfield	G.U.N.T.
Modelo: C4-69 Nombre: Lecho Artificialmente Rugoso Observaciones: ·Se cuentan con mayores especificaciones para el lecho rugoso de G.U.N.T.	Modelo: HM 160.77 Nombre: Base del Canal con Grava
Modelo: C6-MKII-10 + C6-MKII-DTA-ALITE Nombre: Mediciones de Fricción en Fluidos + Accesorio de Registro de Datos con Software Observaciones: ·El equipo de G.U.N.T. cuenta con accesorios (válvula de asiento inclinado) con los que no cuenta Armfield. ·El equipo de Armfield cuenta con tubo pitot y tubería rugosa, G.U.N.T. no lo hace. ·El material de los tubos de Armfield es de acero inoxidable, mientras el de los de G.U.N.T. es de PVC. ·El equipo de Armfield cuenta con 38 tomas de presión rápida, un sistema de adquisición de datos en computador con caudalímetro electrónico y sensores electrónicos de presión, a diferencia del sistema de G.U.N.T. que cuenta con manómetros de columna y medición de caudal a través del banco. ·El sistema de G.U.N.T. es más liviano, sin embargo el de Armfield tiene ruedas para desplazamiento.	Modelo: HM 150.11 Nombre: Pérdidas en un Sistema de Tuberías
Modelo: C7-MKII-10 Nombre: Aparato de Oscilación de Presión y Golpe de Ariete Observaciones: ·El equipo de G.U.N.T. tiene especificaciones más detalladas que el de Armfield. ·El equipo de G.U.N.T. cuenta con su propio tanque de alimentación y bomba, lo que lo hace poco modular, al no operar con un banco hidráulico común a otros equipos.	Modelo: HM 156 Nombre: Golpe de Ariete y Chimenea de Equilibrio
Modelo: C10 Nombre: Mesa de Flujo Laminar Observaciones: ·El equipo de G.U.N.T. tiene un mejor desempeño, debido a que opera con un consumo de agua mucho menor que el de Armfield.	Modelo: HM 152 Nombre: Flujo Potencial
Modelo: C11-MKII-10 Nombre: Redes de Tuberías Observaciones: ·El equipo de G.U.N.T. tiene su propio depósito y bomba, lo que lo hace menos modular al no funcionar con un banco móvil. ·A pesar de la no modularidad del equipo de G.U.N.T., la bomba que tiene consume menos energía que la del banco de Armfield, lo que hace más eficiente su funcionamiento. ·El equipo de Armfield cuenta con medidor de presión digital, lo que lo hace más moderno que el de G.U.N.T. que opera con manómetro de columna y tipo Bourdon.	Modelo: HM 111 Nombre: Redes de Tuberías
Modelo: S12-MKII-50-B + S12 MODELS Nombre: Sistema Avanzado de Estudio Hidrológico + Modelos Observaciones: ·El equipo de Armfield trae un conjunto más amplio de formas y modelos para la investigación de superficies.	Modelo: HM 145 Nombre: Estudios Hidrológicos Ampliados

La calificación técnica de las alternativas es bastante extensa, por lo que se encuentra anexa en el archivo de Excel que acompaña el presente informe. En la **Tabla 17** se encuentra el resumen de la calificación técnica para las alternativas.

Tabla 17 Resumen calificación técnica de alternativas.

Alternativa	Nota
Armfield	3.64
GUNT	3.03
Equipos de Zúñiga	0

○ **Evaluación y calificación ambiental de alternativas:**

Como se especificó en numerales anteriores, los impactos generados actualmente por el laboratorio de Zúñiga son muy elevados tanto en temas energéticos como de consumo acuífero, por lo que la valoración de esta opción es bastante baja. Véase Tabla 18.

Por otro lado, los equipos ofrecidos por Armfield y G.U.N.T. consumen menos energía y agua, siendo su impacto al medio ambiente mucho menor que el de los equipos de la sede de Zúñiga. Adicionalmente al ser empresas con sistemas mecánicos y eléctricos similares, su calificación ambiental es la misma. Véase Tabla 19 y Tabla 20.

Tabla 18 Calificación ambiental de la alternativa de traslado.

COMPONENTE	IMPACTO		Zúñiga-Palmas								Parcial
			Planeación	Desinstalación	Traslado	Instalación	Puesta en marcha	Operación	Mantenimiento	Dar de baja	
AIRE	Deterioro de la calidad del aire	Emisiones directas	1	1	-1	1	1	1	1	1	0.75
		Emisiones indirectas	1	0	1	0	-1	-1	0	0	0
	Aumento en decibeles de ruido		1	-1	0	-1	-1	-1	0	0	-0.375
RECURSO HÍDRICO	Alteración de la calidad del agua	Físico	1	-1	1	1	-1	-1	-1	0	-0.125
		Químico	1	-1	1	1	0	0	0	0	0.25
		Biológico	1	-1	1	1	-1	-1	-1	0	-0.125
	Disminución del recurso hídrico (por gasto)		1	1	1	1	-1	-1	-1	0	0.125
PUNTAJE TOTAL											0.5
NOTA											0.36

Tabla 19 Calificación ambiental de Armfield.

COMPONENTE	IMPACTO		Armfield								Parcial
			Planeación	Desinstalación	Traslado	Instalación	Puesta en marcha	Operación	Mantenimiento	Dar de baja	
AIRE	Deterioro de la calidad del aire	Emisiones directas	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		Emisiones indirectas	1	1	0	0	0	0	0	0	0.25
	Aumento en decibeles de ruido		1	1	1	0	0	0	0	0	0.375
RECURSO HÍDRICO	Alteración de la calidad del agua	Físico	1	1	1	1	0	0	0	0	0.5
		Químico	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		Biológico	1	1	1	1	0	0	0	0	0.5
	Disminución del recurso hídrico (por gasto)		1	1	1	1	0	0	-1	0	0.375
PUNTAJE TOTAL											4
NOTA											2.86

Tabla 20 Calificación ambiental de G.U.N.T.

COMPONENTE	IMPACTO		G.U.N.T.									
			Planeación	Desinstalación	Traslado	Instalación	Puesta en marcha	Operación	Mantenimiento	Dar de baja	Parcial	
AIRE	Deterioro de la calidad del aire	Emisiones directas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		Emisiones indirectas	1	1	0	0	0	0	0	0	0.25	
	Aumento en decibeles de ruido		1	1	1	0	0	0	0	0	0.375	
RECURSO HÍDRICO	Alteración de la calidad del agua	Físico	1	1	1	1	0	0	0	0	0.5	
		Químico	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		Biológico	1	1	1	1	0	0	0	0	0.5	
	Disminución del recurso hídrico (por gasto)		1	1	1	1	0	0	-1	0	0.375	
			PUNTAJE TOTAL									4
			NOTA									2.86

○ **Evaluación y calificación de seguridad de alternativas:**

Para la evaluación de este ítem, se analizaron los posibles riesgos a los que estarían expuestos los estudiantes y docentes a la hora de realizar las prácticas en el laboratorio.

Como se mencionó en numerales anteriores, el laboratorio actual en la sede de Zúñiga cuenta con numerosos peligros latentes desde el ingreso en el mismo, lo cual implica una mala calificación en este aspecto, ya que su instalación en la sede de Las Palmas tendría, si bien un poco reducidos, los mismos riesgos actuales.

Por otro lado, las alternativas de Armfield y GUNT son muy similares en los riesgos que implican, entre los cuales el más destacable es el riesgo de chorro de agua a presión en caso de que una manguera mal instalada se libere de su ubicación. Lo anterior dio como resultado que ambas compañías obtuvieran el mismo resultado.

Tabla 21 Calificación de seguridad de alternativas.

TIPO DE RIESGO	RIESGO	Armfield		GUNT		Zúñiga-Palmas	
		Operación	Parcial	Operación	Parcial	Operación	Parcial
FÍSICO	Ruido	1	1	1	1	0	0
	Obstáculos (tropiezo)	1	1	1	1	0	
	Superficie lisa (resbalamiento)	1	1	1	1	1	1
MECÁNICO	Atrapamiento	0	0	0	0	-1	-1
	Aplastamiento	0	0	0	0	-1	-1
	Seccionamiento (corte)	1	1	1	1	0	0
	Proyección de fluidos a presión	-1	-1	-1	-1	0	0
ELÉCTRICO	Contacto eléctrico	1	1	1	1	1	1
QUÍMICO	Inhalación de vapores de mercurio	1	1	1	1	0	0
	Ingestión de mercurio	1	1	1	1	0	0
	Salpicaduras de mercurio líquido	1	1	1	1	0	0
BIOLÓGICO	Salpicaduras de agua con microorganismos	0	0	0	0	0	0
Puntaje Total		7		Puntaje Total	7	Puntaje Total	0
NOTA		2.92		NOTA	2.92	NOTA	0.0

○ Evaluación de alternativas nacionales

Para el estudio de esta alternativa se contactaron y preguntaron a diferentes empresas nacionales y algunas universidades acerca del proceso de elaboración, instalación y mantenimiento de los equipos requeridos por la Universidad EIA. Dicha investigación dejó las siguientes conclusiones:

- Las empresas nacionales no cuentan con equipos estándares desarrollados, cada uno de estos es diseñado específicamente para un proyecto definido, dependiendo de las necesidades del cliente. Lo anterior deja ver la carencia de un proceso de elaboración bien estandarizado como los que poseen las empresas GUNT y Armfield, esto los lleva a tener que implementar una metodología de fabricación basada en el ensayo y error.
- Los materiales empleados para el ensamble de equipos nacionales no suelen ser de buena calidad. Esto pudo evidenciarse en la visita a la Universidad Nacional de Colombia, en la cual los equipos desarrollados por empresas sin la suficiente tecnología presentaban varias averías y requerían de un mantenimiento constante. Dichas reparaciones se convierten en costos adicionales para la institución.
- Algunos de los equipos requeridos por la Universidad no han sido elaborados por dichas empresas, lo cual, o dejaría varias asignaturas por fuera del proyecto o se necesitaría de un diseño y estudio detallado adicional para desarrollar tales equipos, dejando abierta una gran probabilidad de errores en el proceso.

3.2.4 ELECCIÓN DE ALTERNATIVA

Una vez realizada la evaluación en los 5 aspectos de las diferentes alternativas, se procede a calcular la nota definitiva de cada una de ellas, para esto se realizaron 3 análisis, los cuales se describirán a continuación:

- Dándole el mismo peso a cada uno de los 5 aspectos, es decir, sacando un promedio para cada alternativa, buscando un equilibrio de opiniones y no limitando la importancia de ningún aspecto. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 22 Calificación definitiva de alternativas (análisis 1)

	Armfield	GUNT	Traslado equipos de Zúñiga
Académico	4.76	4.43	1.35
Económico	2.91	0.00	5.00
Técnico	3.64	3.03	0.00
Ambiental	2.86	2.86	0.36

Seguridad	2.92	2.92	0.00
Total	3.42	2.65	1.34

- Dándole un 40% de peso al ítem económico, y un 15% a cada uno de los demás aspectos, con el fin de brindarle una mayor importancia al dinero que invertirá la institución para el proyecto, los resultados fueron:

Tabla 23 Calificación definitiva de alternativas (análisis 2)

	Armfield	GUNT	Traslado equipos de Zúñiga
Académico	4.76	4.43	1.35
Económico	2.91	0	5
Técnico	3.64	3.03	0
Ambiental	2.86	2.86	0.36
Seguridad	2.92	2.92	0
Total	3.29	1.99	2.26

- El último análisis contempló un peso del 40% para el aspecto académico, el cual es el más importante desde el punto de vista de la docencia, ya que prioriza la opción con la que se pueda aumentar el rango de operación en mayor medida:

Tabla 24 Calificación definitiva de alternativas (análisis 3)

	Armfield	GUNT	Traslado equipos de Zúñiga
Académico	4.76	4.43	1.35
Económico	2.91	0	5
Técnico	3.64	3.03	0
Ambiental	2.86	2.86	0.36
Seguridad	2.92	2.92	0
Total	3.75	3.09	1.34

Por lo tanto, Armfield es la alternativa elegida para el laboratorio de recursos hídricos, porque es la que arrojó la calificación más alta en las evaluaciones realizadas.

3.3 DISEÑO DEL LABORATORIO Y CONSIDERACIONES PARA IMPLEMENTACIÓN

3.3.1 Distribución en planta

De acuerdo con los planos otorgados por la Universidad EIA para el espacio destinado al laboratorio de recursos hídricos, se procedió a distribuir las diferentes áreas dentro de este, con la ayuda de un asesor de Armfield.

En el área propuesta por la universidad de 200m², se distribuyen de manera segura los equipos requeridos para el laboratorio de recursos hídricos. Se debe tener en cuenta que algunos de los equipos mostrados en el plano no están propuestos dentro de los evaluados en este trabajo, dado que la Universidad EIA ya cuenta con ellos.

Es importante resaltar que, además de la distribución permitir el libre desplazamiento de estudiantes y docentes de manera segura, el diseño cuenta con mesas de trabajo y sillas, que en combinación con los equipos permite que sea un laboratorio apto, a su vez, para clases teórico prácticas, haciéndolo más versátil y útil para la Universidad EIA.

La planta resultante se muestra a continuación:

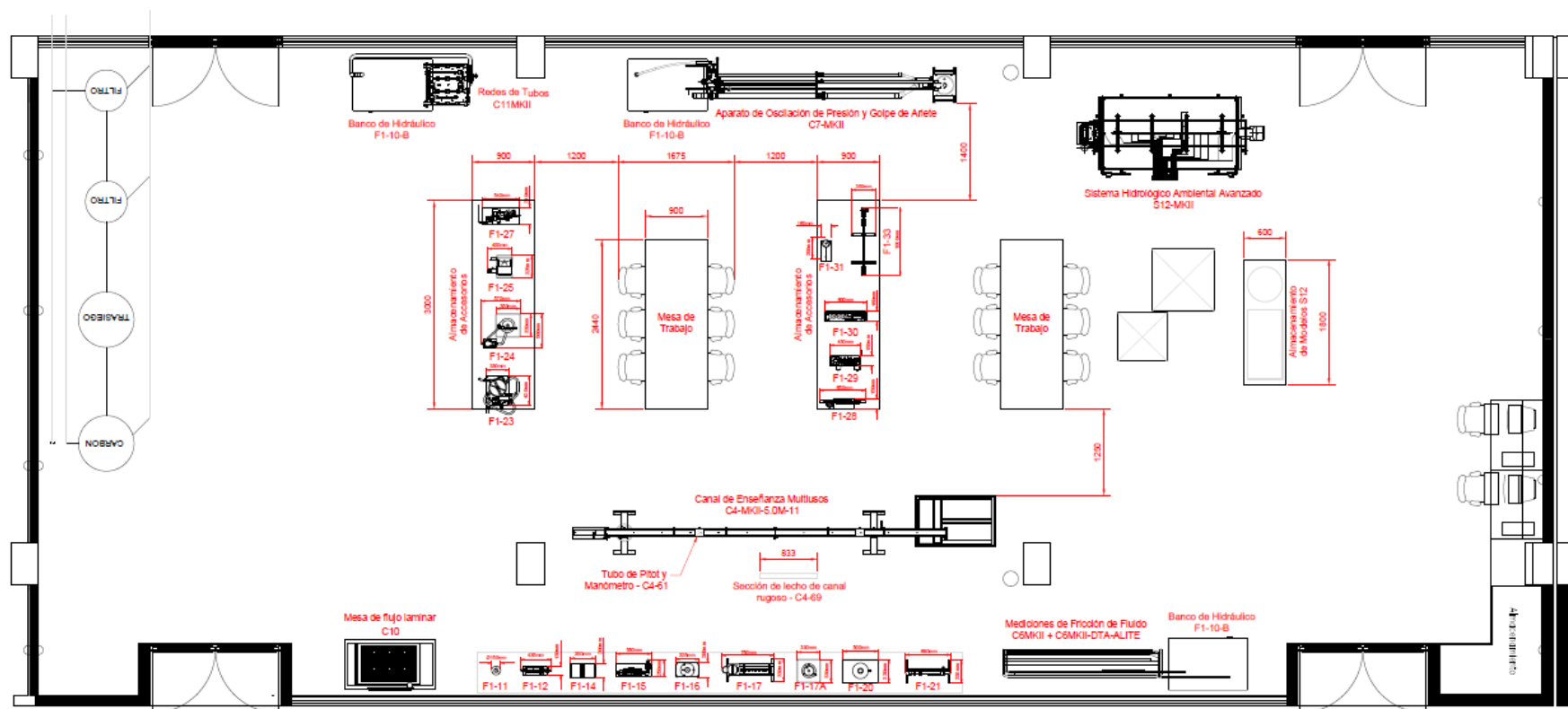


Ilustración 86 Planta del nuevo laboratorio de recursos hídricos de la Universidad EIA.

Nota: El plano de la planta del laboratorio se encuentra anexo para una mejor visualización.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

3.3.2 REQUERIMIENTOS DE PLANTA FÍSICA

Suministro eléctrico:

Tabla 25 Requerimientos por equipo de suministro eléctrico.

EQUIPO	VOLTAJE	CORRIENTE	FASES	FRECUENCIA
Banco hidráulico (F1-10-B)	120V	20 ^a	1	60Hz
Bomba serie/paralelo (F1-26-B)	120V	20 ^a	1	60Hz
Características de bomba (F1-27-B)	120V	20 ^a	1	60Hz
Sistema de hidrología avanzada (S12-MKII-50-B)	120V	20 ^a	1	60Hz

Suministro de agua:

Tabla 26 Requerimientos por equipo de suministro de agua.

EQUIPO	TIPO DE SUMINISTRO
Banco hidráulico (F1-10-B)	Temporal, solo para el llenado
Sistema de hidrología avanzada (S12-MKII-50-B)	Temporal, solo para el llenado
Mesa de flujo laminar (C10)	Permanente, 0.25 l/s (máx.) a 2 bar (abs)

Drenaje:

Tabla 27 Requerimientos por equipo de drenaje.

EQUIPO	TIPO DE SUMINISTRO
Banco hidráulico (F1-10-B)	Temporal, solo para la limpieza
Sistema de hidrología avanzada (S12-MKII-50-B)	Temporal, solo para la limpieza
Mesa de flujo laminar (C10)	Permanente, 0.25 l/s (máx.)

Software:

Tabla 28 Requerimientos para el uso de software.

EQUIPO	REQUISITOS DEL COMPUTADOR
Unidad de registro de datos (C6-MKII-DTA-ALITE)	Windows, 1 puerto USB libre
Aparato de oscilación de presión y golpe de ariete C7-MKII-10	Windows, 1 puerto USB libre
Sistema de hidrología avanzada (S12-MKII-50-B)	Windows, 1 puerto USB libre

3.3.3 Condiciones generales del laboratorio

A continuación se presentan las condiciones generales con las que debe contar el nuevo laboratorio de recursos hídricos de la Universidad EIA:

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

1. Debe contar con piso antideslizante, de esta forma se evitan caídas provocadas por eventuales salpicaduras de agua.
2. El piso debe estar bien nivelado, principalmente donde irá instalado el canal hidráulico.
3. Se recomienda la instalación de tomas eléctrica de tipo aérea, cercanas al banco hidráulico del canal y al sistema de hidrología avanzada. Este tipo de tomas quedan protegidas de salpicaduras y evitan que las personas puedan tropezarse con los cables.
4. El drenaje para la mesa de flujo laminar debe ser de piso, esto para evitar que se cree un efecto sifón que perturbe la experimentación en el equipo.
5. Se recomienda que el laboratorio cuente con varios drenajes de piso para el vaciado de los bancos hidráulicos, el cual se debe hacer para su limpieza.
6. El laboratorio debe contar con buena iluminación, que permita la visualización de los experimentos, sin embargo, se debe evitar que los rayos del sol incidan de manera directa sobre los equipos, dado que podrían deteriorarlos.
7. Se recomienda que las mesas de trabajo sean móviles (con rodachinas) para que sea más versátil.
8. No se requiere tanque enterrado ni tanque elevado para la operación de los equipos.

3.3.4 Fases de inversión propuestas

Al ser un proyecto con un costo elevado que supera el presupuesto establecido por la Universidad EIA, se propone distribuir la inversión en varias etapas, de manera que pueda ser costeada por la institución. Se sugieren entonces las dos siguientes opciones:

Opción 1:

Esta opción se sale un poco del presupuesto anual establecido por la universidad, ya que hay algunas fases cuya inversión supera los \$300.000.000 (teniendo en cuenta la inflación por año). Por otro lado, se busca sustituir lo más pronto posible los equipos viejos con equipos nuevos, de esa manera se puede empezar a realizar un mayor número de prácticas en la sede de pregrados.

Esta opción prioriza la adquisición de los equipos que reemplazan directamente a los equipos que se encuentran actualmente en la sede de Zúñiga y aquellos que tengan un mayor porcentaje de temas a cubrir.

Adicionalmente se hace indispensable ubicar uno de los bancos en la primera fase, ya que este permitirá la realización de ensayos simultáneos.

A continuación (ver Tabla 29, Tabla 30 y Tabla 31) se presentan las fases de inversión de la Opción 1:

Tabla 29 Fase Cero de inversión de la Opción 1.

FASE: Cero - AÑO: 2017 - PERIODO: 2			
MODELOS	EQUIPOS	COSTO	COBERTURA DE TEMAS
C4-MKII-5.0M-11	Canal Hidráulico Multipropósito de 5.0 m.	\$ 99.790.782,00	22%
F1-10-B	Banco hidráulico	\$ 21.599.214,00	
TOTAL		\$ 121.389.996,00	22%

Tabla 30 Fase Uno de inversión de la Opción 1.

FASE: Uno - AÑO: 2018 - PERIODO: 1 y 2			
MODELOS	EQUIPOS	COSTO	COBERTURA DE TEMAS
S12-MKII-50-B	Sistema Avanzado de Estudio Hidrológico	\$ 194.253.696,00	39%
S12-MODELS	Modelos - Sistema Avanzado de Estudio Hidrológico	\$ 7.110.012,00	
C6-MKII-10	Mediciones de Fricción en Fluidos	\$ 70.710.276,00	4%
C6-MKII-DTA-ALITE	Accesorio de Registro de Datos con Software	\$ 23.325.666,00	
C7-MKII-10	Aparato de Oscilación de Presión y Golpe de Ariete	\$ 68.046.342,00	2%
TOTAL		\$ 383.047.845,84	45%

Tabla 31 Fase Dos de inversión de la Opción 1.

FASE: Dos - AÑO: 2019 - PERIODO: 1 y 2			
MODELOS	EQUIPOS	COSTO	COBERTURA DE TEMAS
F1-10-B	Banco hidráulico	\$ 21.599.214,00	
F1-29	Estática de fluidos y manometría	\$ 45.843.798,00	4%
F1-30	Aparato para propiedades de fluidos	\$ 31.642.338,00	5%
F1-33	Tubo Pitot de Demostración	\$ 19.417.944,00	4%
C4-61	Tubo Pitot y Manómetro	\$ 29.655.990,00	2%
C4-69	Lecho Artificialmente Rugoso	\$ 34.974.576,00	2%
C11-MKII-10	Redes de Tuberías	\$ 68.584.698,00	2%
C10	Mesa de Flujo Laminar	\$ 79.203.306,00	10%
TOTAL		\$ 369.595.002,53	28%

Opción 2:

Esta opción no se sale del presupuesto anual establecido por la universidad, ya que ninguna de las fases supera los \$300.000.000 (teniendo en cuenta la inflación por año).

Esta opción prioriza la adquisición de los equipos que reemplazan directamente a los equipos que se encuentran actualmente en la sede de Zúñiga y aquellos que tengan un mayor porcentaje de temas a cubrir.

A continuación (ver desde Tabla 32 hasta Tabla 35) se presentan las fases de inversión de la Opción 2:

Tabla 32 Fase Cero de inversión de la Opción 2.

FASE: Cero - AÑO: 2017 - PERIODO: 2			
MODELOS	EQUIPOS	COSTO	COBERTURA DE TEMAS
C4-MKII-5.0M-11	Canal Hidráulico Multipropósito de 5.0 m.	\$ 99.790.782,00	22%
TOTAL		\$ 99.790.782,00	22%

Tabla 33 Fase Uno de inversión de la Opción 2.

FASE: Uno - AÑO: 2018 - PERIODO: 1 y 2			
MODELOS	EQUIPOS	COSTO	COBERTURA DE TEMAS
F1-10-B	Banco hidráulico x2	\$ 43.198.428,00	
C6-MKII-10	Mediciones de Fricción en Fluidos	\$ 70.710.276,00	4%
C6-MKII-DTA-ALITE	Accesorio de Registro de Datos con Software	\$ 23.325.666,00	
C7-MKII-10	Aparato de Oscilación de Presión y Golpe de Ariete	\$ 68.046.342,00	2%
C10	Mesa de Flujo Laminar	\$ 79.203.306,00	10%
TOTAL		\$ 299.827.189,37	16%

Tabla 34 Fase Dos de inversión de la Opción 2.

FASE: Dos - AÑO: 2019 - PERIODO: 1 y 2			
MODELOS	EQUIPOS	COSTO	COBERTURA DE TEMAS
S12-MKII-50-B	Sistema Avanzado de Estudio Hidrológico	\$ 194.253.696,00	39%
S12-MODELS	Modelos - Sistema Avanzado de Estudio Hidrológico	\$ 7.110.012,00	
C11-MKII-10	Redes de Tuberías	\$ 68.584.698,00	2%
TOTAL		\$ 301.495.889,67	41%

Tabla 35 Fase Tres de inversión de la Opción 2.

FASE: Tres - AÑO: 2020 - PERIODO: 1 y 2			
MODELOS	EQUIPOS	COSTO	COBERTURA DE TEMAS
F1-29	Estática de fluidos y manometría	\$ 45.843.798,00	4%
F1-30	Aparato para propiedades de fluidos	\$ 31.642.338,00	5%

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

FASE: Tres - AÑO: 2020 - PERIODO: 1 y 2			
MODELOS	EQUIPOS	COSTO	COBERTURA DE TEMAS
F1-33	Tubo Pitot de Demostración	\$ 19.417.944,00	4%
C4-61	Tubo Pitot y Manómetro	\$ 29.655.990,00	2%
C4-69	Lecho Artificialmente Rugoso	\$ 34.974.576,00	2%
TOTAL		\$ 190.704.562,02	17%

4. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

Luego de desarrollar este proyecto se llegó a las siguientes conclusiones:

- El laboratorio de recursos hídricos propuesto para la sede de Las Palmas de la Universidad EIA es suficiente para cubrir todas las necesidades detectadas en el estudio de los microcurrículos, en los cuales se buscaron todos aquellos temas de las asignaturas que pudieran requerir de la implementación de prácticas de laboratorio.
- De acuerdo con las visitas realizadas a la Universidad EAFIT y Universidad Nacional de Colombia, se infirió que las tendencias en instalación que estas poseían no debían ser tenidas en cuenta como un referente para la implementación por la Universidad EIA, ya que las necesidades entre universidades no son las mismas, además que dichas instituciones:
 - Cuentan con programas de postgrado (relacionados con recursos hídricos y marinos/oceanográficos).
 - Ofrecen a terceros (empresas, particulares y otras universidades) sus laboratorios para investigación y desarrollo. A partir de estas actividades financian su operación.
- El laboratorio actual de Zúñiga no está en condiciones aptas de funcionamiento, las cuales, tenderían a seguir iguales e incluso a empeorar en el caso de que se decidiera trasladar dicho laboratorio a la nueva sede. Esto pudo notarse y respaldarse al revisar los diferentes equipos allí presentes: bombas con eficiencia relativa menor al 10%, canal con rango de variación de pendiente menor al necesario, derrames de agua del tanque de la almenara, falta de precisión en las mediciones. Por otro lado, se evidenciaron condiciones inseguras de trabajo que ponen en riesgo a los usuarios.
- Las empresas Armfield y GUNT ofrecen diversas alternativas de equipos para los laboratorios de recursos hídricos, con muy buenas especificaciones técnicas y académicas, además de ser amigables con el medio ambiente y seguras para los usuarios. Por otro lado, las empresas nacionales que se dedican a la fabricación de estos equipos aún no cuentan con la experiencia, recorrido, garantía y planta suficientes para satisfacer las necesidades de la Universidad EIA.
- El laboratorio diseñado con los equipos propuestos por la compañía Armfield se adapta a las solicitudes, deseos y facilidades de la institución, al haber obtenido la calificación promedio más alta, teniendo en cuenta los aspectos académico, económico, técnico, ambiental y de seguridad, y permitiendo emplear el área no solo

como lugar para realizar prácticas, sino también como salón de clases, mejorando las capacidades instaladas del mismo.

Finalmente, se propone a la Universidad EIA tener presente las siguientes consideraciones a la hora de llevar a cabo el proyecto:

- Tomar la distribución en planta y los requerimientos de planta física detallados en este trabajo, como guía fundamental para la implementación del laboratorio.
- Llevar a cabo todas las condiciones generales propuestas para que el laboratorio sea un espacio sin mayores riesgos para aquellas personas que lo utilicen.
- Analizar la mejor forma de llevar a cabo las fases de inversión, en el caso de que las propuestas no se adapten en algún momento al presupuesto dedicado a los equipos del laboratorio, siguiendo la metodología presentada en este informe.

5. REFERENCIAS

- Armfield. (2017). Aparato de Oscilación de Presión y Golpe de Ariete. Recuperado el 1 de Septiembre de 2017, de <http://discoverarmfield.com/es/products/view/c7mkii/aparato-de-oscilacion-de-presion-y-golpe-de-ariete>
- Armfield. (2017). Aparato para Propiedades de Fluidos. Recuperado el 1 de Septiembre de 2017, de <http://discoverarmfield.com/es/products/view/f1-30/aparato-para-propiedades-de-fluidos>
- Armfield. (2017). Banco Hidráulico. Recuperado el 2 de Septiembre de 2017, de <http://discoverarmfield.com/es/products/view/f1/banco-de-hidraulica-y-accesorios-f1-10>
- Armfield. (2017). Canal para Enseñanza Multiuso. Recuperado el 1 de Septiembre de 2017, de <http://discoverarmfield.com/es/products/view/c4/canal-para-ensenanza-multiuso>
- Armfield. (2017). Dispositivo Experimental de Tubo Pitot. Recuperado el 1 de Septiembre de 2017, de <http://discoverarmfield.com/es/products/view/f1-33/dispositivo-experimental-de-tubo-pitot>
- Armfield. (2017). Equipo para estática de fluidos y manometría. Recuperado el 1 de Septiembre de 2017, de <http://discoverarmfield.com/es/products/view/f1-29/estatica-de-fluidos-y-manometria>
- Armfield. (2017). Mediciones de Fricción en Tuberías. Recuperado el 30 de Septiembre de 2017, de <http://discoverarmfield.com/es/products/view/c6/mediciones-de-friccion-en-fluidos>
- Armfield. (2017). Mesa de Flujo Laminar. Recuperado el 1 de Septiembre de 2017, de <http://discoverarmfield.com/es/products/view/c10/mesa-de-flujo-laminar>
- Armfield. (2017). Redes de Tubos. Recuperado el 1 de Septiembre de 2017, de <http://discoverarmfield.com/es/products/view/c11/redes-de-tubos>
- Armfield. (2017). Sistema Avanzado de Hidrología. Recuperado el 1 de Septiembre de 2107, de <http://discoverarmfield.com/es/products/view/s12/sistema-avanzado-de-hidrologia>
- G.U.N.T. (2017). Golpe de Ariete y Chimenea de Equilibrio. Recuperado el 30 de Septiembre de 2017, de http://www.gunt.de/index.php?option=com_gunt&task=gunt.list.category&product_id=591&lang=en

- G.U.N.T. (2017). Base del Canal con Grava. Recuperado el 30 de Septiembre de 2017, de <http://www.gunt.de/es/productos/base-del-canal-con-grava/070.16077/hm160-77/glct-1:pa-150:pr-631>
- G.U.N.T. (2017). Canal de Ensayos 86*300 mm. Recuperado el 30 de Septiembre de 2017, de http://www.gunt.de/index.php?option=com_gunt&task=gunt.list.category&product_id=595&lang=es
- G.U.N.T. (2017). Canal de Venturi. Recuperado el 30 de Septiembre de 2017, de http://www.gunt.de/index.php?option=com_gunt&task=gunt.list.category&product_id=618&lang=es
- G.U.N.T. (2017). Compuerta Plana Deslizante. Recuperado el 30 de Septiembre de 2017, de http://www.gunt.de/index.php?option=com_gunt&task=gunt.list.category&product_id=599&lang=es
- G.U.N.T. (2017). Estudios Hidrológicos Ampliados. Recuperado el 30 de Septiembre de 2017, de http://www.gunt.de/index.php?option=com_gunt&task=gunt.list.category&product_id=546&lang=en
- G.U.N.T. (2017). Flujo Potencial. Recuperado el 30 de Septiembre de 2017, de http://www.gunt.de/index.php?option=com_gunt&task=gunt.list.category&product_id=588&lang=en
- G.U.N.T. (2017). Fundamentos de la Medición de la Presión. Recuperado el 30 de Septiembre de 2017, de http://www.gunt.de/index.php?option=com_gunt&task=gunt.list.category&product_id=1468&lang=en
- G.U.N.T. (2017). Indicador del Nivel de Agua. Recuperado el 30 de Septiembre de 2017, de http://www.gunt.de/index.php?option=com_gunt&task=gunt.list.category&product_id=619&lang=es
- G.U.N.T. (2017). Juegos de Vertederos de Cresta Delgada. Recuperado el 30 de Septiembre de 2017, de http://www.gunt.de/index.php?option=com_gunt&task=gunt.list.category&product_id=600&lang=es
- G.U.N.T. (2017). Pérdidas en un Sistema de Tuberías. Recuperado el 30 de Septiembre de 2017, de

http://www.gunt.de/index.php?option=com_gunt&task=gunt.list.category&product_id=558&lang=en

G.U.N.T. (2017). Redes de Tuberías. Recuperado el 30 de Septiembre de 2017, de <http://www.gunt.de/es/productos/mecanica-de-fluidos/flujo-estacionarios/flujo-en-sistemas-de-tuberias/redes-de-tuberias/070.11100/hm111/glct-1:pa-150:ca-152:pr-526>

G.U.N.T. (2017). Tubo de Pitot Estático. Recuperado el 30 de Septiembre de 2017, de <http://www.gunt.de/es/productos/tubo-de-pitot-estatico/070.16050/hm160-50/glct-1:pa-150:pr-617>

G.U.N.T. (2017). Vertedero Crump. Recuperado el 30 de Septiembre de 2017, de http://www.gunt.de/index.php?option=com_gunt&task=gunt.list.category&product_id=603&lang=es

G.U.N.T. (2017). Vertedero de Cresta Ancha. Recuperado el 30 de Septiembre de 2017, de http://www.gunt.de/index.php?option=com_gunt&task=gunt.list.category&product_id=601&lang=es

G.U.N.T. (s.f.). Determinación de la Velocidad de Sedimentación. Recuperado el 30 de Septiembre de 2017, de http://www.gunt.de/index.php?option=com_gunt&task=gunt.list.category&product_id=540&lang=en

Gómez Jaramillo, J. M., & Tamayo Zuluaga, J. R. (1988). Diseño preliminar del laboratorio de hidráulica para la Escuela de Ingeniería de Antioquia. Envigado, Colombia. Recuperado el 20 de Septiembre de 2016, de <http://fluidos.eia.edu.co/areafluidos/tesis/dplh.html>

OPUS. (2016). ONLINE PIPING AND USAGE SPECIFICATION. Recuperado el 15 de Octubre de 2016, de <http://opus.mcerf.org/pair.aspx?appId=-7205792671936227836&materialID=8059954738199480686>

SUTEK. (2015). Equipos de Mecánica de Fluidos, Tratamiento de Aguas, Hidrología y Mecánica de Suelos para el Laboratorio de Ing. Civil del ITESM, Chihuahua. Chihuahua, México. Recuperado el 15 de Octubre de 2016, de <http://www.sutek.com.mx/staff/dr-butcher-house/>

TecnoEdu. (2017). Lecho Artificialmente Rugoso. Recuperado el 30 de Septiembre de 2017, de <http://tecnoedu.com/Armfield/C469.php>

TecnoEdu. (2017). Tubo Pitot y Manómetro. Recuperado el 30 de Septiembre de 2017, de <http://tecnoedu.com/Armfield/C461.php>

Universidad de Bangor. (2016). School of Ocean Sciences. Bangor, Reino Unido. Recuperado el 15 de Octubre de 2016, de <https://www.bangor.ac.uk/oceansciences/about/facilities/hydrolab.php%20canal%20de%20oleaje>

Universidad Nacional Autónoma de México UNAM. (2017). Estudio Técnico. 41. México. Recuperado el 29 de Mayo de 2017, de <http://www.economia.unam.mx/secss/docs/tesisfe/GomezAM/cap2a.pdf>

Universidad Nacional de Córdoba. (2011). Laboratorio de Hidráulica. Córdoba, España. Recuperado el 12 de Octubre de 2016, de http://www.efn.uncor.edu/investigacion/hidraulica/?page_id=667

Zamy, L. (15 de Diciembre de 2015). Vertedero Rectangular. Recuperado el 15 de Octubre de 2016, de <https://www.youtube.com/watch?v=sNltjwAPDCU>

ANEXO 1